

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SUBSTRATOS
MINERADOS EM CINCO CASCALHEIRAS REVEGETADAS
NO DISTRITO FEDERAL**

MARCEL ANDERSON BORGES BENTO

ORIENTADOR: RODRIGO STUDART CORRÊA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 115/09
BRASÍLIA / DF: FEVEREIRO – 2009**

MARCEL ANDERSON BORGES BENTO

Avaliação da Qualidade dos Substratos Minerados em Cinco Cascalheiras Revegetadas no Distrito Federal.

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida à Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais na área de recuperação de ambientes degradados.

APROVADA POR:

Prof.º RODRIGO STUDART CORRÊA – Ph. D.

Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Florestal – UnB,
E-mail: rodmanga@yahoo.com.br (ORIENTADOR)

Prof.ª ROSANA DE CARVALHO CRISTO MARTINS – D. Sc.

Professora Adjunta da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Florestal – UnB,
E-mail: rocristo@gmail.com (EXAMINADORA INTERNA)

Prof.º PERSEU FERNANDO DOS SANTOS – Ph. D.

Professor Adjunto do Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Católica de Brasília – UCB/DF.
E-mail: perseu@ucb.br (EXAMINADOR EXTERNO)

Prof.º ILDEU SOARES MARTINS – D. Sc.

Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Florestal – UnB
E-mail: ildmarti@unb.br (SUPLENTE)

Brasília, 13 de Fevereiro de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

BENTO, MARCEL ANDERSON BORGES

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SUBSTRATOS MINERADOS EM CINCO CASCALHEIRAS REVEGETADAS NO DISTRITO FEDERAL [Distrito Federal] 2009.

XII, 128p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1.Solo do Cerrado

2.Mineração no DF.

3.Avaliação da Qualidade do Solo

4.Indicadores e Atributos da Qualidade

I. EFL/FT/UnB

II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BENTO, M. A. B. Avaliação da Qualidade dos Substratos Minerados em Cinco Cascalheiras Revegetadas no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-115/09 , Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128p. 2009.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marcel Anderson Borges Bento.

TÍTULO: Avaliação da Qualidade dos Substratos Minerados em Cinco Cascalheiras Revegetadas no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Marcel Anderson Borges Bento
QNJ 20 Casa 21 – Taguatinga Norte / DF.
72.140-200 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua participação incondicional na criação! Sem o Seu grandioso projeto, muitas belezas não poderiam ser contempladas neste mundo tão perfeito que é todo Seu.

Ao meu orientador e professor Rodrigo Studart Corrêa, o meu muito obrigado pela excessiva paciência, orientação e colaboração em momentos tão complexos de minha vida e pelo exemplo transparente de profissionalismo e dedicação.

Não poderia deixar de agradecer aos professores Wenceslau Goedert e Carlos Alberto de Oliveira pois, estes homens muito contribuíram para a evolução desta dissertação com as suas aulas e opiniões.

Aos membros desta banca por aceitarem o meu convite e participarem de um momento tão importante em minha vida.

Aos meus amigos e companheiros que contribuíram para realização deste trabalho, com extensas horas, coletando os dados necessários para a elaboração e evolução do desenvolvimento desta dissertação. Contudo, não poderia deixar de citá-los neste momento tão importante: Ana Paula Brito Maia e Francisca Maria Brito Maia – obrigado pelo incentivo, pois tudo começou graças a vocês; ao meu amigo Rodrigo Ordone de Oliveira – pela amizade e contribuição acadêmica; aos meus irmãos Dany Anderson Borges Bento e Marcone Bento Toledo – por me auxiliarem nas atividades de campo; Shirley, Sara Araújo Sousa e Karliane Brito Maia pela contribuição no processo de revisão gramatical, e aos amigos que conheci na minha trajetória profissional e que hoje são exemplos importantes em minha vida: Vladimir, Goreth, Cristiano, Thiago e Zé Antônio (Servidores – CAESB).

Agradeço a GW Construções e Incorporações Ltda, por todo o incentivo e apoio recebido da direção e de toda a equipe desde as gerências até os servidores de campo.

Por fim, agradeço a todos os parentes de modo especial a Rosângela Yamaguchi e Ângela Maria Toledo e aos amigos que me apoiaram e torceram para que este momento fosse concluído com êxito.

A todos vocês o meu muito obrigado!

Dedicado a meus avós:

*Onofre Bento e Rosa Maria Bento por
cuidarem de mim e testemunharem o
resultado desta bela educação.*

RESUMO

As atividades que causam elevados impactos aos solos nos Cerrados são causadoras de um aumento significativo na perda de produtividade no que diz respeito em áreas de agricultura e perda na resiliência de ambientes degradados pela mineração.

No Distrito Federal, a mineração é responsável pela degradação de uma extensão superior a 0,6% da extensão do território, sem contar que esta região está inserida no segundo maior bioma que é o Cerrado onde ele encontra-se com apenas 20% da sua extensão original nativa. A mineração de cascalho laterítico no DF tem crescido de forma indiscriminada pois, este material é uma matéria-prima muito importante na construção de rodovias. Entretanto, este material encontra-se na camada sub-superficial dos solos, geralmente presentes no horizonte C do perfil de um solo. Os materiais provenientes da mineração geralmente são explorados e após o esgotamento da jazida, muitos locais são deixados sem a intervenção e recuperação necessária destas áreas degradadas. A avaliação da qualidade do solo em áreas mineradas vem com o propósito neste trabalho, perceber se ambientes degradados pela mineração de cascalho estão readquirindo com o tempo os fatores físicos, químicos e biológicos importantes para entender o seu retorno às condições anteriormente presentes e que podem ser vistas nos solos dos Cerrados adjacentes. Sendo assim, foram estudados os atributos físicos, químicos e biológicos de cinco cascalheiras no Distrito Federal e que foram revegetadas utilizando como fonte de matéria orgânica o Lodo de Esgoto, fornecido pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB.

Os Índices de Qualidade do Substrato encontrados indicam que a condição do substrato através da incorporação do lodo de esgoto juntamente com as técnicas de conservação do solo importantes para contribuir com o processo de reconstrução dos solos. Apenas a cascalheira localizada na DF 430 obteve valores do IQSS (0,91) inferiores ao Cerrado adjacente (1,0), enquanto que as demais áreas obtiveram valores muito superiores principalmente no que diz respeito aos atributos químicos, comprovando a importância da incorporação do lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica nestas áreas.

Termos para indexação: mineração no Distrito Federal, Lodo de Esgoto, Matéria Orgânica, Índice da Qualidade do Substrato

ABSTRACT

The activities that cause high impacts to the soils in the Cerrados are causing a significant increase in loss of productivity with respect to areas of agriculture and loss of resilience in degraded environments by mining. In the Federal District (Distrito Federal), the mining is responsible for degradation of a length exceeding 0.6% of the size of territory, disregarding this region is inserted into the second largest biome is the Cerrado where he meets with only 20% of its original native extension. The mining of gravel in the DF laterítico has grown so indiscriminate because this material is a very important raw material in the construction of highways. However, this material is in the sub-surface layer of soil, usually in the C horizon of a soil profile. The materials from mining are generally operated and after the exhaustion of the deposit, many places are left without the necessary intervention and rehabilitation of degraded areas. The assessment of soil quality in mined areas is for the purpose in this work, see if environments degraded by mining of gravel are with the physical factors, biological and chemical important to understand your return on present and past conditions that can be views on land adjoining the Cerrados. Therefore, we studied the physical attributes, chemical and biological Cascalheira of five in the Federal District (Distrito Federal) and were revegetated using organic matter as a source of the sewage sludge, supplied by the Company of Environmental Sanitation of the Federal District – CAESB. The Indices of Quality of Substrate found indicate that the condition of the substrate through the incorporation of sewage sludge together with the techniques of soil conservation important to contribute to the reconstruction process of the soil. Only the Cascalheira located at DF₄₃₀ IQSS obtained values of (0.91) below the adjacent Cerrado (1.0), while other areas had much higher values especially in regard to chemical attributes, confirming the importance of incorporating the sewage sludge as a source of organic matter in these areas.

Index terms: mining in the federal district, sewage sludge, Organic matter and Indices of Quality of Substrate.

SUMÁRIO

Páginas

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. HIPÓTESE	15
3.1 Justificativa.....	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1 Cerrado	16
4.2 – Áreas Mineradas no DF.....	17
4.3 – Produção de Lodo de Esgoto no DF.....	21
4.4 Uso de Lodo de Esgoto na Revegetação de Áreas Mineradas	28
4.5 Avaliação da Qualidade do Solo	31
4.6 - Indicadores da Qualidade do Solo e Substrato.....	35
4.7 - Atributos Físicos do Solo	37
4.7.1 Densidade Aparente (P_b)	38
4.7.2 Porosidade Total do Solo (P_t).....	39
4.7.3 Resistência Mecânica a Penetração (R_p).....	39
4.7.4 Água Disponível (A_d)	39
4.8 Atributos Químicos do Solo	40
4.8.1 – Capacidade de Troca Catiônica.....	40
4.8.2 - Saturação por Bases ($V\%$).....	42
4.8.3 – Variação do Potencial Hidrogeniônico (ΔPh)	42
4.8.4 – Fósforo Disponível (P)	43
4.9 Atributos Biológicos do Solo	44
4.9.1 Matéria Orgânica do Solo (Mos).....	44
4.9.2 Macrofauna do Solo	47
5. MATERIAL E MÉTODOS	52
5.1 Áreas Avaliadas.....	52

5.2 Atributos para a Determinação da Qualidade do Solo	57
5.2.1 Atributos Físicos.....	57
5.2.2 Atributos Químicos	60
5.2.3 Atributos Biológicos.....	63
5.3. Índice de Qualidade do Substrato (IQSS).....	64
6. RESULTADOS	67
6.1 Atributos Químicos	67
6.1.1 Capacidade de Troca Catiônica.....	67
6.1.2 Saturação por Base (V%)	68
6.1.3 Variação do Potencial Hidrogeniônico (ΔPh)	69
6.1.4 Fósforo Disponível (P – Disponível).....	69
6.2 Atributos Físicos.....	71
6.2.1 Densidade	71
6.2.2 Porosidade Total.....	72
6.2.3 Água Disponível.....	73
6.2.4 Resistência Mecânica a Penetração	74
6.3 Atributos Biológicos.....	88
6.3.1 Macrofauna do Solo	88
6.3.2 Matéria Orgânica do Solo.....	90
7. INDICE DE QUALIDADE DO SUBSTRATO (IQSS) E O MODELO DE QUALIDADE DO SOLO.....	92
8. CONCLUSÕES.....	101
9. ANEXOS	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação da quantidade de lodo de esgotos em ETE's do DF *.....	24
Tabela 2. Concentrações máximas permissíveis de metais em lodos de esgoto Classes A e B.....	25
Tabela 3 - Parasitos mais comuns em lodo de esgoto*	27
Tabela 4. Atributos químicos de cinco fontes de matéria orgânica (% na matéria seca) ...	46
Tabela 5 – Referências geográficas de cinco cascalheiras no Distrito Federal	52
Tabela 6. Valores médios com os respectivos desvios dos atributos químicos determinados para avaliar a qualidade do solo na profundidade de 0-20 cm nas áreas de cascalheiras e de Cerrado nativo adjacentes (n = 3).....	71
Tabela 7 – Massa de cascalho analisado em amostras compostas na profundidade de 0 a 20 cm com 3 repetições em área Minerada e de Cerrado, localizados na BR 070.....	77
Tabela 8 – Massa de cascalho analisado em amostras compostas na profundidade de 0 a 20 cm com 3 repetições em área Minerada e de Cerrado, localizados na BR 060.....	79
Tabela 9 – Valores médios de Densidade (g cm^{-3}), Porosidade total (%) e Água Disponível (Mpa) dos substratos das cascalheiras e solos sob Cerrados, com os respectivos desvios-padrão (n = 3)	86
Tabela 10 – Valores médios de resistência mecânica à penetração (Rp) dos substratos revegetados, expressos em MPa, ao longo de 30 cm de profundidade (n = 5)	86
Tabela 11 – Valores médios de resistência mecânica à penetração (Rp) dos solos sob Cerrado, expressos em MPa, ao longo de 30 cm de profundidade	87
Tabela 12 – Valores médios da Macrofauna encontrada em blocos de solo (20 x 20 x 15 cm)	89
Tabela 13 – Valores médios de Fauna (SCI – Sequential Comparison Index) e Matéria Orgânica (M.O), expressa em dag/kg.....	91
Tabela 14 – Índice de Qualidade do Substrato (IQSS).....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Montante de áreas mineradas por tipo de solo no Distrito Federal.....	20
Figura 2 – Principais etapas para a determinação do IQSS.....	37
Figura 3 – Mapa de localização de cascalheira na QI 29.	53
Figura 4 – Mapa de localização de cascalheira na DF 430.	54
Figura 5 – Mapa de localização de cascalheira na BR 060.	55
Figura 6 – Mapa de localização de cascalheira na BR 070.	56
Figura 7 – Mapa de localização de cascalheira na BR 251.....	57
Figura 8 – Penetrômetro de impacto MODELO: IAA/PLANALSUCAR.....	59
Figura 9 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da DF 430.	75
Figura 10 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 251.....	76
Figura 11 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 070.....	78
Figura 12 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 060.....	80
Figura 13 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da QI 29.....	81
Figura 14 – Resistência mecânica à penetração dos substratos das cinco Cascalheiras visitadas	83
Figura 15 – Resistência mecânica à penetração dos solos das cinco áreas de Cerrado usadas como controle	85
Figura 16 – Diagrama comparativo da qualidade do solo da Cascalheira localizada na DF 430, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo Adjacente.....	93

Figura 17 – Diagrama da qualidade do solo da Cascalheira localizada na BR 251 distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo Adjacente..... **94**

Figura 18 – Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na BR 070, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente **96**

Figura 19 - Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na BR 060, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente **98**

Figura 20 - Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na QI 29 Lago Sul, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente **99**

1. INTRODUÇÃO

Há mais de quarenta anos a atividade mineraria no Distrito Federal já degradou 0,6% da extensão distrital (CORRÊA et al., 2004). Cascalho, areia, saibro e brita são utilizados em obras de infra-estrutura ou para a construção. Hoje esses materiais, antes conhecidos como de minerais Classe II, são classificados como materiais naturais de construção (CARNEIRO et al, 2004). Esse tipo de mineração caracteriza-se pelo baixo investimento, pela atividade praticada em pequenas áreas e pela ausência de tecnologia nas fases de produção, controle e recuperação da lavra. O material exposto, após a lavra, costuma variar bastante de acordo com a localização, mas genericamente é conhecido como substrato. O substrato apresenta atributos físicos, químicos e biológicos diferentes do solo, que possui camadas em seu perfil, conhecido como horizontes, e estrutura própria com características bem definidas.

Como as técnicas de recomposição ambiental estão em crescente evolução, fala-se atualmente em construção de solos a partir de substratos minerados (REIS, 2006; CORRÊA, 2006). O uso destas técnicas tem o intuito de aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água no terreno e o estabelecimento de um ambiente físico favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas (GOEDERT, 2005; ARAÚJO, 2004; ARAÚJO, 2006; CORRÊA, 2006).

A escarificação e a subsolagem são atividades mecânicas que facilitam o desenvolvimento radicular. Logo, o resultado conduz os atributos físicos a apresentarem melhores condições para que ocorra o retorno de uma camada vegetal primária. Além disso, promove-se condições para a regeneração ambiental. Após estas atividades, deve-se incorporar matéria orgânica, pois ela é um componente fundamental para acelerar os processos de reconstrução dos solos em áreas de jazidas.

O uso do lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica tem sido um importante indicador nos processos de “evolução na construção dos solos”. Portanto, o uso de métodos que viabilizem os atributos físicos, químicos e biológicos auxiliam no retorno dos ciclos biogeoquímicos que haviam sido modificados e/ou interrompidos, por uma atividade impactante, como a mineração.

Lembrando que o lodo de esgoto (LE) é o resultado do tratamento de efluentes em forma de resíduos urbano ou industrial (LOPES , 2008). Atualmente, há uma grande demanda do uso do lodo de esgoto para fins agrícolas, florestais e recuperação de áreas

degradadas devido ao seu alto potencial fertilizante e condicionador das propriedades físicas do solo dada a grande quantidade de matéria orgânica que comporta.

Entretanto, o seu uso ainda é realizado de modo cauteloso e sistemático pois, existem poucos estudos referentes aos danos que podem surgir com o seu uso indiscriminado, principalmente devido este material apresentar uma quantidade muito alta de patógenos.

Contudo, este trabalho teve como objetivo, avaliar a qualidade do substrato de cinco cascalheiras revegetadas com o uso do lodo de esgoto nos processos de incorporação da matéria orgânica.

Este trabalho tem o propósito de contribuir para o desenvolvimento de técnicas que possibilitem uma rápida interpretação de pontos prioritários (físicos, químicos e biológicos) na recuperação de áreas degradadas, visto que a intervenção humana nestes ambientes pode acelerar os processos de reconstrução dos solos e conseqüentemente a retomada da sucessão com o grande incremento da cobertura vegetal, juntamente com a fauna edáfica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa avaliar a qualidade dos substratos de cinco cascalheiras, que foram revegetadas com o uso de lodo de esgoto no Distrito Federal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os atributos físicos dos substratos revegetados;
- Avaliar os atributos químicos dos substratos revegetados;
- Avaliar os atributos biológicos dos substratos revegetados.

3. HIPÓTESE

Os substratos das cascalheiras revegetadas com o uso de lodo de esgoto no Distrito Federal apresentam características edáficas semelhantes aos dos solos de Cerrado.

3.1 JUSTIFICATIVA

A mineração expõe material inapropriado ao estabelecimentos de plantas. Portanto, a sucessão ecológica nesses locais é extremamente lenta. A criação de uma ambiente edáfico adequado ao estabelecimento de plantas e outros organismos é a base da revegetação de áreas mineradas e, conseqüentemente, da sustentabilidade e sucessão ecológica em áreas mineradas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CERRADO

O bioma Cerrado comporta formações florestais, savânicas e campestres, cada qual com diferentes tipos fitofisionômicos (FELFILI et al, 2004). O Cerrado é um complexo vegetacional, localizado basicamente no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país, abrangendo cerca de 25 % do território brasileiro, onde 20% permanece intacto (SANO, 1998; COSTA, 2005). O Cerrado é uma savana mais ou menos densa, de cobertura herbácea contínua, de aproximadamente 70 cm de altura, com descontínuos elementos arbustivos, galhos retorcidos, cascas espessas e de vez em quando coriáceas (GOEDERT, 1986).

O clima do Cerrado é continental tropical semi-úmido e a temperatura média é de 25 °C, chegando ao máximo de 40° graus no verão. De abril a setembro, tem-se a estação seca, os meses mais frios são junho e julho, a temperatura mais alta é em agosto e em novembro, dezembro e janeiro são os meses mais chuvosos (COSTA, 2005 *apud* Ambiente Brasil, 2005).

No ano de 2000, o Cerrado foi incluso entre os 25 ecossistemas prioritários para a conservação no planeta. Os critérios que levaram o Cerrado a ser selecionado foram: a proteção do maior número de espécies e maior concentração de espécies endêmicas (PINTO, 2000).

Os estudos de solos na região dos Cerrados iniciaram-se aproximadamente em 1960, desenvolvendo-se na década de 1970. Diante da gama de levantamentos e das variáveis utilizadas, como mapeamentos e classificação, sua utilização para a recomendação agrícola é prejudicada, por conta da difícil compreensão desses critérios (GOEDERT, 1986).

Os fatores principais que determinam os Cerrados são os solos ácidos, de baixa fertilidade e o clima estacional. Sabendo que os Cerrados apresentam uma considerável variação de vegetação, clima e topografia e ainda é responsável por 22% das terras do Brasil (ADÂMOLI et al, 1987). Três tipos de formações vegetais

Isso é devido ao seu alto grau de intemperismo, apresentando um elevado teor de acidez, baixa capacidade de alumínio e deficiência praticamente generalizada de macro e micronutrientes. A deficiência hídrica é um fator limitante no Cerrado, ocorrendo devido a

um conjunto de fatores ligados a má distribuição das chuvas, intensa evapotranspiração e devido aos solos que apresentam baixa retenção de água e alta velocidade de infiltração (COSTA, 2005).

Uma característica dos solos de Cerrado é possuírem propriedades físicas que podem não limitar o desenvolvimento das raízes. Porém, com baixa disponibilidade de água, isso ocorre principalmente em solos Latossólicos com textura média, os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos Argilosos estes apresentam esta característica devido a sua estrutura microgranular (COSTA et al, 2000).

Logo, iniciar estudos de qualidade desses solos somente é adquirida pela combinação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que provêm um meio para o crescimento das plantas, reguladoras do fluxo de água no ambiente e servem como tampão na formação, atenuação e degradação de compostos nocivos ao meio ambiente, pois, sustentam uma enorme população de microorganismos (ARAÚJO, 2004).

Costa et al (2000) afirmam que as propriedades físicas dos solos dos Cerrados são deterioradas por processos relacionados a estresses mecânicos ou físico-químicos. Sendo assim, nestes solos os altos teores de óxidos de ferro e alumínio, agentes cimentantes de alta eficiência na fração argila e exercem um papel fundamental na estabilidade de agregados.

Na região do Cerrado, os solos são caracteristicamente dotados de boas propriedades físicas, topografia favorável e propriedades químicas inadequadas, tais como elevada acidez, altos teores de Al trocável e deficiência generalizada de nutrientes, especialmente Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} e P-disponível. Esses solos uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial em sua capacidade resiliente ou de produção (SOUZA et al, 2006).

4.2 – ÁREAS MINERADAS NO DF

A atividade minerária no Distrito Federal iniciou-se com a construção de Brasília e foi praticada de forma ilegal até a sua regulamentação com a publicação do Decreto nº 1.594/1971 (CORRÊA et al, 2004).

A atividade minerária no DF foi proibida na década de 60, devido à susceptibilidade de solos desnudos de Cerrado à erosão, ocorrendo a sua liberação na

década seguinte. Com a edição do Decreto nº 1.594/1971 a exploração de areia e cascalho foi regularizada.

A Lei que obriga a recuperação de lavras exploradas data no início da década de 80. Com a criação da lei nº 6.938/81 que determina a recuperação de áreas degradadas, sendo que esta lei vem definir os princípios da Política Nacional do Meio Ambiente, que busca auxiliar na manutenção e fiscalização destas atividades. Porém, a carência de regulamentação desse dispositivo fez com que não evoluísse esta questão no Brasil até os anos 90.

Segundo Corrêa et al, (2004) foram necessários oito anos até que o Decreto nº 97.632/89 regulamentasse a Lei nº6.938/1981. Nele está definido que “*são considerados como **degradação** os processos resultantes ao meio ambiente, pelos quais perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais*” e ainda, “*a **recuperação** tem o objetivo de deixar o sítio degradado com uma forma de utilização, de acordo com o plano preestabelecido para uso do solo, proporcionando desta forma uma estabilidade do meio ambiente*”.

Em 1988 a Constituição Federal em seu Art. 225, § 2º, salienta a preocupação ambiental causada por atividades mineradoras, determinando que: “*aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.*” Apesar desta diversidade de leis, houve uma discrepância com a prática e isto foi uma das causas do deficiente controle ambiental sobre a mineração no país nos anos de 1980 a 1990. Com a criação da SEMATEC, em 1989, pela Lei nº 040, o licenciamento ambiental para exploração mineral tornou-se algo rotineiro. Entretanto, um levantamento da situação em 1996 identificou que apenas 34 de 500 hectares de jazidas haviam passados por trabalhos de revegetação no Distrito Federal (NURAD/GRN/DITEC (1996) *apud* Corrêa et al 2004). Nesta mesma pesquisa, observou-se que 15 hectares do total das áreas recuperadas apresentaram técnicas de revegetação incompatíveis com os objetivos.

A antiga legislação ambiental evoluiu para uma legislação mais apropriada, voltada para a recuperação e restauração de ambientes degradados pela mineração. Com isso, espera-se a diminuição dos danos ambientais, juntamente com o uso de melhores projetos e uma elevada qualidade técnica, sem esquecer que isto proporciona um incremento das áreas recuperadas (CORRÊA et al, 2004).

No ano de 2000 a Lei nº. 9.985 veio complementar a legislação ambiental. Através dela se estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação. O SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000) tem como um dos seus principais objetivos manter os ecossistemas naturais dentro de áreas criadas conhecidas como Unidades de Conservação. Mas, dentro desta ótica, o SNUC visa a manutenção destes ambientes de forma sustentável. Sendo assim, o SNUC estabelece dois conceitos importantes que se aproximam da realidade nas atividades de reabilitação de áreas mineradas que são: a recuperação e a restauração. No artigo 2º, define-se **recuperação** como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original; e **restauração** é uma restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo da sua condição original, que pode ser diferente de sua condição original, de prática difícil e onerosa em ambientes raros. Enquanto que **reabilitação** pode ser entendida como a função de uma área que volta a seu estado biológico ideal através principalmente da revegetação e de técnicas de conservação do solo.

Os materiais mais importantes na extração realizada pela mineração são: areia, cascalho, argila, saibro, aterro e brita. Juntos eles são responsáveis pelas áreas degradadas no Distrito Federal. Além da demanda crescente por este tipo de material, a atividade requer baixo investimento e é realizada em pequenas extensões, devido a ausência de aporte na tecnologia nas fases de produção, controle ambiental e recuperação das lavras. Muitas destas áreas exploradas continuam sem nenhuma atividade de recuperação, pois além das dificuldades de regeneração natural, estes solos/substratos necessitam de auxílio para que acelerar o processo de regeneração natural. Para que isto ocorra, é de suma importância a avaliação da qualidade do substrato e das características que provavelmente se assemelham com as do solo do Cerrado nativo (CORRÊA et al, 2004; ARAÚJO, 2006).

No Distrito Federal, as jazidas de aterro e cascalho geralmente localizam-se às margens dos centros urbanos, sendo a sua maioria em áreas rurais. A imagem Landsat ETM+, de novembro de 2002, revelou a existência de 234 locais degradados pela mineração no DF, sem nenhuma recuperação; totalizando 3.419 hectares de lavras exploradas, o que significa 0,6% da área distrital (CORRÊA et al, 2004). Deste total, 883 hectares são cascalheiras de Cambissolos distribuídos em 115 jazidas (Figura 1). Juntas, as lavras de Cambissolos e Latossolos correspondem a 80% da extensão degradada pela

mineração. A exploração nos Latossolos para a extração de aterro e argila contribui segundo Corrêa et al (2004) com 1.858 hectares de jazidas lavradas, e corresponde a 54% da extensão degradada pela mineração (Figura 1).

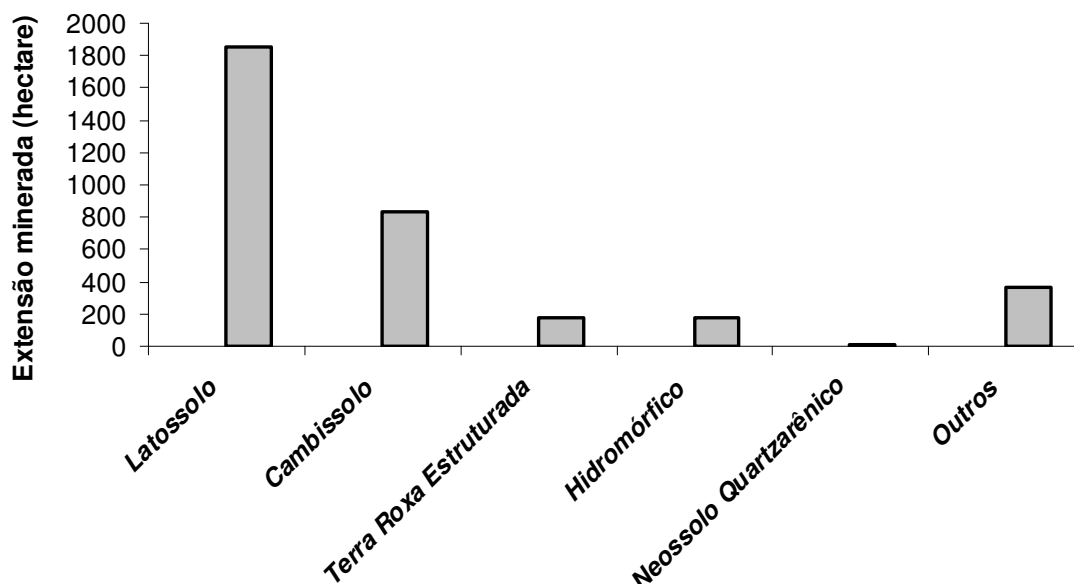


Figura 1 – Montante de áreas mineradas por tipo de solo no Distrito Federal. Fonte: Corrêa et al (2004).

O território do DF possui cerca de 10% de suas áreas com rebordos, e são nestes locais onde o cascalho aflora e sua escolha é observada por meio da qualidade do cascalho, da facilidade de acesso e da facilidade de exploração. Então, essa porcentagem pode acarretar num acréscimo de 57.830 hectares de áreas lavradas ao passivo ambiental existente (CORRÊA et al. 2004).

A Região Administrativa que possui o maior contingente de áreas mineradas é Sobradinho com 710 hectares. As dez maiores áreas degradadas pela mineração no DF, juntas totalizam 1.061 hectares, três delas localizam-se em Sobradinho. O impacto dessas dez áreas é tão forte que caso fossem recuperadas, a extensão delas seria reduzida em 1/3 (CORRÊA et al, 2004). A cidade mais urbanizada do DF, o Plano Piloto, acumula a terceira maior extensão de áreas degradadas pela mineração, com 11%. De acordo com Corrêa et al (2004), atualmente há apenas a retirada de cascalho em pequenas extensões e quantidades.

A mineração no DF é um caso que merece muitas explicações em relação as suas atividades e aos seus respectivos controles. Em 11 de agosto de 2006, o Tribunal de Contas

do Distrito Federal – TCDF (2007), solicitou esclarecimentos sobre a atividade mineradora no DF, que supostamente estava sendo realizada sem o devido Licenciamento Ambiental. Existem, ainda, mineradores que, mesmo com os seus PRAD's¹, não recuperam as suas lavras; e o custo de recuperação é dividido por toda a sociedade. Apenas 20% do montante degradado pela mineração no Distrito Federal é objeto de recuperação, sendo que há apenas 40% de licenças para as áreas mineradas no DF (CORRÊA et al., 2004). Para evitar a continuidade da clandestinidade na mineração, é necessário fazer um trabalho intenso de atualização periódica de informações sobre os mineradores e as jazidas e, ainda, promover um verdadeiro progresso no desenvolvimento econômico e uma viável manutenção ambiental (CORRÊA et al, 2004).

4.3 – PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO NO DF

No Brasil, as Estações de Tratamentos de Esgotos – ETE's- produzem o lodo de esgoto como subproduto do tratamento de esgotos, tornando-o um material de alta complexidade por conta de sua composição variável, a depender do processo utilizado, da localização das ETE's, e até mesmo dos nutrientes da alimentação e dos resíduos descartados, provenientes do local em que ele fora produzido (MAIA, 2006; SAITO, 2007 *apud* LOPES, 2008; TSUTIYA, 2000; VIDOR, 1999;).

Segundo Lopes (2008), o **lodo de esgoto** (LE) é o resultado do tratamento de efluentes em forma de resíduos urbano ou industrial. O Conselho de Meio Ambiente do Distrito Federal (CONAM/DF n.º 3/2006) define o lodo de esgoto como um *sedimento secundário dos sistemas de tratamento de efluentes que, pode ser chamado de biossólido caso seja utilizado de maneira benéfica e segura*. A Lei n.º 3.581 publicada no DODF/2005 emprega o termo **biossólido** ao lodo gerado através do tratamento de esgotos urbanos, hospitalares ou industriais, que tenham sido submetidos a um processo de redução de patógenos, em condição estável e se apto ao uso agrícola. Segundo Lopes (2008), o biossólido é resultado no processo da ETE, desde que esse processo seja feito por caleação, com reciclagem racional e sem riscos ambientais.

No entanto, o termo “biossólido” está sendo substituído pelo termo “lodo de esgoto”, como descrito na resolução do CONAMA, pois segundo Andreoli *et al* (2001) *apud* Maia (2006), considerava-se o biossólido quase que exclusivamente em seus aspectos benéficos

¹ PRAD – Plano de Recuperação de Área Degradada.

e não à sua disposição final improdutiva através de aterros, baixa disposição no solo, incineração ou até mesmo pela possibilidade de causar equívoco, em relação a nomes, aos produtores ou consumidores quando utilizarem produtos como biodinâmica, biofertilizantes e outros.

Além das definições para lodo de esgoto citadas, destaca-se as diversas caracterizações e conceitos para lodo de esgoto de ETE's, como prevê a resolução nº 03/2006, publicada no DODF. Alguns desses conceitos serão listados a seguir:

- *Lodo estabilizado*: material sólido que se obtém no processo de tratamento de esgoto com estabilização através do processo de biodegradação evidenciando suas características indesejáveis a níveis toleráveis.

- *Lodo Caleado*: lodo de esgoto tratado e higienizado seguindo pelo processo de secagem, centrífuga e leitos de secagem, ou por estabilização e higienização, com a adição de sal.

- *Lodo Compostado*: lodo de esgoto submetido ao processo de compostagem, onde os ovos de helmintos são removidos e há produção de material estável e decomposição da matéria orgânica.

- *Lodo ativado*: lodo de esgoto produzido em massa ativada de microrganismos. Consiste no processo de recirculação das células de microrganismos ao tanque de aeração, onde é misturada com o efluente, estabilizando a matéria orgânica que há nele.

- *Lodo de esgoto Classe A*: lodo de esgoto que atende aos limites estabelecidos para concentração de metais, patógenos, atração de vetores - característica inerente do lodo de esgoto atrair roedores, insetos ou outros vetores de agentes patogênicos - e outros critérios.

- *Lodo de Esgoto Classe B*: lodo de esgoto que atende a todos os limites estabelecidos para concentração de metais, patógenos, atração de vetores e outros.

- *Lodo de esgoto Classe C*: lodo de esgoto que não atende as especificações das Classes A e B.

A composição do lodo de esgoto é variável, de acordo com a origem, estado físico e umidade e em matéria seca é significativamente rico de 40 a 60 % de matéria orgânica, (< 0,1 - 17,6%) nitrogênio e fósforo (< 0,1 - 14,6%), além de cobre, zinco, ferro, manganês e potássio (LOPES, 2008; CORRÊA, 2006).

As cidades brasileiras, em sua maioria, não apresentam redes de coletas de esgoto ou estações de tratamento de esgotos de qualidade, com exceção das grandes cidades que podem ter instaladas, as ETE's, que foram criadas como política de incentivo ao saneamento básico e com o intuito de amenizar o problema do lançamento direto em

coleções hídricas e poluição. As ETE's coletam e tratam devidamente as águas residuárias, antes que sejam devolvidas aos mananciais, porém inicia-se o problema da disposição do lodo de esgoto, durante o processo de tratamento das águas residuárias (Ambiente Brasil; PIRES, 2006).

Segundo Lopes (2008), com o crescimento da população urbana, aumenta a quantidade de volume de esgoto sanitário, que além dos problemas citados pode, também, provocar doenças. Assim, uma das opções econômica e ambientalmente vantajosas, é a adição do lodo de esgoto ao solo, sob regulamentação do CONAMA, na resolução n.º 375/2006 que estabelece que o lodo de esgoto *constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura.*

Assim, para definir critérios para o uso de lodos de esgoto para fins agrícolas, foi necessário estabelecer um instrumento legal padronizado para monitorar a destinação final do lodo de esgoto, sem que este causasse danos á saúde pública, através da presença de metais pesados, organismos patogênicos e impactos negativos ao solo; para este efeito, em 2006 foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, a Resolução n.º. 375, que estabelece dentre outros critérios, os cuidados a serem dispensados ao se produzir lodo de esgoto, como a redução de patógenos, através de processo específico e atratividade de vetores que podem causar danos ao ambiente.

Para Tsutiya (2001), o processo de tratamento para obtenção do lodo de esgoto é iniciado ao separar a fração sólida e a líquida do esgoto, através das grandes mecânicas e manuais. A fração sólida é a parte do esgoto que contém substâncias insolúveis (areia, sais, matéria orgânica e metais), chamada de **lodo de esgoto** e a fração líquida compreende as partes mineral e orgânica solúveis. O tratamento mais importante é o biológico, pois o esgoto é rico em nutrientes onde a atividade biológica é facilitada pelo uso da matéria orgânica pelos microrganismos, chamado metabolismo bacteriano, permitido pelo processo de anabolismo simultâneo ao de catabolismo (MAIA, 2006 *apud* ANDREOLI *et al.* 2001).

Em todo o processo as partículas mais sólidas são encaminhadas para os biodigestores e a fase líquida para os reatores, onde até à fase da decantação, o tratamento é primário, partindo para os decantadores secundários que usa mecanismos que auxiliam no processo de degradação (MAIA, 2006). Há materiais sólidos dissolvidos e finos que ficam suspensos no esgoto, que não são eliminados pela força da gravidade; assim, essa matéria orgânica serve como alimento para os microrganismos, transformando-a em sais

minerais e novos microrganismos que formam o lodo secundário que torna matéria orgânica solúvel em insolúvel, que são justamente os microrganismos.

Maia (2006), afirma que as bactérias (aeróbias, anaeróbias e facultativas) são seres fundamentais no tratamento de esgoto, portanto é essencial que se mantenha as condições necessárias para que esses microrganismos sobrevivam para fazer uma boa utilização do esgoto classificando o tratamento biológico.

No final do processo de tratamento secundário, exige-se que seja adicionado ao lodo o sulfato de alumínio que reagirá com o fósforo, através do processo de flotação que separa o lodo mais leve do sistema e fósforo excedente do sistema que se juntarão ao lodo nos biodigestores; após a floculação da reação alumínio com fósforo o resíduo final é lançado em rios, lagos ou córregos entre outros.

Conforme Corrêa (2006), em um total de cem mil habitantes de uma cidade urbanizada, aproximadamente treze milhões de litros de esgoto são gerados por dia , produzindo sessenta toneladas de lodo de esgoto, ou seja, são produzidos cerca de 5 quilos lodo de esgoto por metro cúbico quadrado.

No Distrito Federal, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB - apresentou um índice de coleta de esgotos que chega a 92 % onde 74 % dos esgotos coletados são tratados que atinge 88 % da população - aproximadamente 2 milhões de habitantes - comparável aos países desenvolvidos. Cerca de 400 toneladas de lodo de esgoto são produzidas no DF, para 17 ETE's em funcionamento em todo o Distrito Federal. Algumas ETE's do DF foram representadas na Tabela 1 fornecendo o volume de LE por estação e o total diário.

Tabela 1 – Avaliação da quantidade de lodo de esgotos em ETE's do DF. *

Avaliação da produção de lodo de esgotos em ETE's do DF	
	T/dia
ETE Alagado	3
ETE Gama	30
ETE Melchior	150
ETE Norte	70
ETE Paranoá	2
ETE Planaltina	3
ETE Recanto das Emas	5
ETE Riacho Fundo	12

ETE Santa Maria	1
ETE São Sebastião	0,3
ETE Sobradinho	12
ETE Sul	120
TOTAL	408,3

Fonte: MAIA (2006) *apud* CAESB (2006), *com adaptações.

Verifica-se então, que de 408,3 t/ dia é o total de lodo de esgoto produzido no DF, atualmente, dessa forma, em quantidade de produção de LE *per capita* do Brasil é o Distrito Federal é o maior produtor. Os lodos de esgoto produzidos no DF possuem potencial para uso agrícola, pois apresentam concentrações de metais aquém dos valores máximos estabelecidos pelo CONAM/DF (CORREA *et al*, 2007). A Tabela 2 apresenta as concentrações máximas de metais pesados permitidas nos lodos de esgoto, conforme estabelecido pelo CONAM/DF (2006) E CONAMA (2006).

Segundo Colodro (2005), o lodo de esgoto pode conter teores baixos de metais pesados – domésticos - e ao mesmo tempo, teores altos, como os provenientes das indústrias, intensificando seu potencial poluidor. O mesmo autor cita que os metais pesados, por serem tóxicos, tem o poder no ambiente de causar um desequilíbrio na cadeia alimentar, se em elevadas concentrações, atingindo a fauna, a flora e o homem, resultando em morte (COLODRO, 2005).

Tabela 2 - Concentrações máximas permissíveis de metais em lodos de esgoto Classes A e B.

Elemento	Concentrações limite – base seca (mg kg ¹)	
	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto até sete anos após publicação desta norma	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto a partir do oitavo ano após a publicação desta norma
Arsênio	20	20
Bário	1.300	650
Cádmio	26	13
Cobre	1.500	1.000
Chumbo	500	250
Cromo	1.000	500
Mercúrio	15	4
Molibdênio	50	25
Níquel	420	210
Selênio	50	8

Zinco	3.000	2.000
-------	-------	-------

Fonte: CONAM/ DF (2006); CONAMA (2006).

É compreensível que no lodo de esgoto são encontradas maiores quantidades de metais pesados que no próprio solo, aumentando possíveis riscos quando ele é aplicado no mesmo, já que todos os metais e seus compostos apresentam toxicidade ao organismo. O aumento das concentrações de metais no solo, por meio do lodo de esgoto, geralmente proveniente de áreas industrializadas podem acarretar prejuízos para a água, microrganismos, plantas e animais e para o homem (LOPES, 2006 *apud* HUE, 1995; NASCIMENTO *et al*, 2004). Os metais pesados presentes no lodo de esgoto que deverá ser aplicado no solo, devem obedecer a um limite máximo de concentração estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 375/06 (PADOVANI, 2006).

De acordo com o CONAMA (2006), foram determinados para a caracterização físico-química do lodo de esgoto, os parâmetros e concentrações dos elementos relacionados, considerando os métodos analíticos e de amostragem descritos por ele:

I - Parâmetros: teor de umidade, sólidos totais, sólidos voláteis, pH (água).

II - Nutrientes: carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+), nitrogênio nitrato (N-NO_3^-), nitrogênio Kjeldahl ($\text{N-orgânico} + \text{N-NH}_4^+$), potássio, sódio.

III - Metais: alumínio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo total, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, zinco.

IV - Compostos orgânicos persistentes: conforme CONAMA e demais normas federais.

Segundo a Cetesb (2008), os lodos de esgoto, constituem fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente porque podem conter elementos químicos e patogênicos danosos à saúde e ao meio ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos. Segundo Corrêa (2006), ainda que o lodo esteja tratado, há uma considerável incidência de inúmeros tipos de patógenos que podem ser transmitidos, a exemplo da bactéria do gênero *Salmonella* e protozoários e vermes que geralmente são mais resistentes, além de vírus e ovos de helmintos.

A transmissão desses microorganismos é feita de modo simples direto, através das mãos contaminadas ou de vetores que tiveram contato com o lodo contaminado, como por exemplo, pássaros e roedores (GUILHERME, 1998 *apud* FOESS *et al.*, 1993). Segundo Colodro (2005), os microrganismos encontrados no lodo de esgoto podem ser saprófitos, comensais, simbioses, ou parasitos, onde a última classe citada é a única patogênica, ou seja, que pode causar doenças ao ser-humano e animais. Cinco grupos patogênicos são

comumente encontrados no lodo; citam-se helmintos, protozoários, fungos. Fatores como, elevada frequência de parasitismo no lodo, longa sobrevivência de helmintos no meio externo e dose infectante - um ovo ou cisto de helmintos é suficiente para infectar o hospedeiro, ou seja, o próprio homem - levam riscos à saúde humana (COLODRO, 2005).

Tabela 3 - Parasitos mais comuns em lodo de esgoto.*

Grupo	Parasito	Hospedeiro
Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homem
	<i>Ascaris suum</i>	Suíno
	<i>Ancylostomas duodenale</i>	Homem
	<i>Necator americanus</i>	Homem
	<i>Tricuris trichiura</i>	Homem
	<i>Toxocara canis</i>	Cães, Homens
	<i>Trichostrongylus axei</i>	Bovinos, eqüinos, homem
Cestóides	<i>Taenia solium</i>	Suínos, Homens
	<i>Taenia saginata</i>	Bovinos, homens
	<i>Hymenolepis nana</i>	Artrópodos, homens
	<i>Echinococcus granulosus</i>	Cães, ovinos e homens
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Homem
	<i>Giardia lamblia</i>	Homens, cães e gatos
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, homens,
	<i>Balantidium coli</i>	mamíferos,aves
	<i>Cryptosporidium</i>	Homens e suínos
		Homens e suínos

Fonte: THOMAZ SOCCOL et al (2000), com adaptações.

No meio hídrico, a disposição dos ovos é extremamente nociva, principalmente em localidades situadas às margens de rios receptores de esgoto provenientes de cidades urbanizadas (COLODRO, 2005).

Maia (2006) *apud* USEPA (1999), afirma que, nem sempre todos os patógenos são comumente encontrados em LE's estão nos mesmos, em sua totalidade e de modo constante. A presença de patógenos contaminantes no lodo depende do nível de adoecimento do ser – humano, ou seja, a contaminação do lodo de esgoto é diretamente proporcional à capacidade de a comunidade adoecer (MAIA, 2006).

4.4 USO DE LODO DE ESGOTO NA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

Sabe-se que a mineração é uma das atividades antrópicas que causa grande impacto nos ecossistemas e que o grau de degradação depende da intensidade de interferência no solo, do volume explorado e do rejeito produzido (CARNEIRO et al, 2008).

A degradação de áreas mineradas está relacionada a ecossistemas alterados, onde perdas ou excessos são as formas mais comuns de perturbações e degradações ambientais. A retirada da cobertura vegetal, dependendo da intensidade, pode ser considerada uma degradação ou uma perturbação ambiental.

A partir da situação que uma área degradada se encontra, a revegetação pode ser um elemento de utilização nos programas de recuperação, atendendo aos requisitos individuais, deixando claro o nível desejado de recuperação. Nos processos de revegetação podem ser usadas duas técnicas distintas: a restauração e a reabilitação. A primeira refere-se ao conjunto de tratamentos que objetivam recuperar a forma original do ecossistema, geralmente raro, que demanda mais tempo e maiores custos (ARAUJO, 2006). A reabilitação é um tratamento que busca a recuperação de uma ou mais funções do ecossistema econômica ou ambiental. Corrêa (2006) define reabilitação como retorno da função produtiva da terra, não do ecossistema, por meio da revegetação e ainda enfatiza o termo recuperação, definindo como a estabilização de uma área degradada sem o estreito compromisso ecológico. No Brasil, os termos reabilitação e recuperação são similares, pois, geralmente no país as áreas degradadas são revegetadas (IBAMA, 1990). A recuperação inicia-se com o planejamento, antes da mineração e é finalizada após a exploração da lavra, fazendo a manutenção do plantio, em processo de sucessão ecológica (CORRÊA, 2006).

A regeneração natural é, geralmente, o procedimento mais simples e barato de recuperação de áreas degradadas. Entretanto, o tempo necessário à regeneração natural é longo e está intimamente ligado ao grau de degradação, dando lugar ao lodo de esgoto (KOBAYAMA et al., 2001).

O sistema de aplicação de lodo de esgoto em PRAD's evita o lançamento de LE diretamente em corpos d'água, favorecendo a idéia de **reduzir, reutilizar e reciclar** esse material, rico em matéria orgânica, nutrientes e economicamente vantajoso (CORRÊA, 2006). O uso do lodo de esgoto na área florestal, tanto em plantios comerciais como na recuperação de áreas degradadas, apresenta as seguintes vantagens potenciais: 1) redução dos custos do uso de fertilizantes em áreas geralmente extensas, particularmente na

reposição de N e P; 2) adequabilidade de um grande número de áreas florestais com plantios comerciais, geralmente localizadas em sítios bem drenados e não sujeitos a enchentes periódicas; 3) absorção de nutrientes durante boa parte do ano por suas raízes perenes; 4) capacidade de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e de metais pesados pela grande produção e distribuição de carbono orgânico; 5) não associação, em geral, do produto florestal final com a produção de alimentos, propiciando baixos riscos à saúde pública (FINEP, 2009).

Devido às concentrações de nitrogênio, fósforo e de matéria orgânica em lodos de esgotos, o seu uso em PRAD's atua como biofertilizantes, condicionador de solos, e manutenção da produtividade desde que as leis de segurança sanitária e ambientais sejam seguidas. Assim, uma alternativa à disposição final do lodo de esgoto em aterros sanitários, incineração e disposição oceânica, seria o seu uso benéficamente econômico e ambiental na recuperação de áreas degradadas pela mineração, mediante análise prévia da relação custo/benefício (CORRÊA, 2006; FRANK, 1998 *apud* MAIA, 2006)

A utilização de lodo de esgoto para fins de recuperação, apresenta melhoria do solo, no que se diz respeito à retenção de água, porosidade, resistividade à erosão e dentre outros, matéria residual que pode ser aproveitada para as demais culturas, ao haver necessidade (MAIA, 2006). Porém, pelo fato de lodos de esgotos apresentarem umidade elevada – cerca de 88 % - dificuldades com transporte, manuseio e aplicação são evidentemente encontradas na utilização do mesmo em PRAD's.

Segundo Corrêa (2006), no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração, os patógenos não causam problemas desde que não haja espaço aquático e as altas concentrações de metais são muito eficientes.

O lodo de esgoto pode ter diferentes destinações como disposição na superfície, próprio para o uso agrícola, em PRAD's ou reuso industrial, incineração que é alternativa mais cara e que precisa de um cuidado maior no seu monitoramento e disposição nos oceanos ou em aterros sanitários – que foram proibidos pela Diretiva da Comunidade Econômica Européia pelo acordo internacional de Helsinki, respectivamente, devido à questão ambiental (MAIA, 2006). Assim, como estabelecido pelo CONAM/DF (2006), é vedada a aplicação de lodo de esgoto em Áreas de Preservação Permanente - APP's, Áreas de Proteção de Mananciais - APM's, definidas em lei, e áreas sujeitas a encharcamento ou alagamento, ainda que esporadicamente.

O interessado em utilizar lodo de esgoto deverá obter autorização do Órgão Ambiental, protocolando o Projeto Técnico ou de Pesquisa na Secretaria de Saúde e na Secretaria de Agricultura do GDF, que abrirá, processo para análise do pleito

Sabe-se que o acúmulo de LE, é uma das causas que ameaçam o ambiente e o homem em seus aspectos social e econômico. Assim, uma das alternativas de segurança , de acordo com o artigo 38 do CONAM/DF (2006) é *que todos os agentes envolvidos nas operações de geração, distribuição, carregamento, transporte, aplicação e uso de lodo de esgoto deverão utilizar Equipamentos de Proteção Individual - EPI's, conforme legislação aplicável.*

O CONAM/ DF (2006),ainda regulamenta, conforme relacionado abaixo, sobre as áreas passíveis de receberem lodo de esgoto:

Art. 23 - É vedada a aplicação de lodo de esgoto em um raio de 600 (seiscentos) metros do ponto de captação d'água dos mananciais de abastecimento público.

Art. 24 - É ainda vedada a aplicação de lodo de esgoto em um raio mínimo de 100 (cem) metros de poços do tipo cacimba, residências e áreas de freqüentação pública.

Art. 25 – Dever-se-á observar uma distância mínima de 15 (quinze) metros de vias de domínio público, de drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.

Art. 26 - Por um período de 30 (trinta) dias após a aplicação do lodo de esgoto não será permitido o acesso de animais e do público às áreas que em que foi efetuada a aplicação, exceto para fins científicos e didáticos.

Art. 27 - Áreas com declividade a partir de 5% (cinco por cento) devem ser previamente terraceadas para que possam receber lodo de esgoto de qualquer Classe.

§ único – O estipulado neste artigo não se aplica as áreas que receberão o lodo de esgoto exclusivamente em covas, até o limite de 100% (cem por cento) de declividade - 45° de inclinação com a horizontal.

Art. 28 - Não é permitida a utilização de lodo de esgoto Classes B e C em solos com 85% (oitenta e cinco por cento) de areia ou mais, sob qualquer hipótese.

Art. 29 - É proibido o uso de lodo de esgoto, de qualquer Classe, em áreas irrigadas por inundação ou sulcos.

Dessa forma, é importante salientar a importância de coletar e tratar o lodo de esgoto de modo seguro e restrito para o sistema de captação de água, - que é um recurso que em pouco tempo se tornará escasso, devido à contaminação-, como incentivo à redução de custos pra o sistema de saúde, representando também, ganhos ambientais e sociais (MAIA, 2006). Assim, melhor forma para utilizar bem o LE e colocar em prática as ações citadas, é seu uso no processo de recuperação de áreas degradadas.

4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo é definida como um conjunto de atributos que interagem entre si ou capacidade para funcionar dentro dos limites do ecossistema, mantendo a produtividade biológica, assegurando a qualidade do meio ambiente e promovendo a qualidade e o desenvolvimento das plantas e animais (ARAÚJO, 2004;DORAN, 1994; JUNIOR, 2004).

Santana (2002) considera que a qualidade de um solo nativo, florestal, agrícola ou reconstruído a partir de substratos minerados é resultado de um conjunto de fatores químicos, físicos e biológicos que interagem entre si e que são passíveis de serem mensurados e monitorados, sendo, muitas vezes, um dependente do outro para a manutenção do ecossistema. Os atributos físicos, químicos e biológicos possuem propriedades, processos e características que, sendo avaliados, indicam mudanças na qualidade do solo. O monitoramento desses atributos permite a manutenção do solo de acordo com os objetivos determinados, sejam eles para a produção, mineração, recuperação ou restauração. Os atributos do solo são avaliados por meio de indicadores, e a escolha destes depende da função a ser avaliada e da escala do estudo como, por exemplo: fazenda, bacia, região ou extração de minérios (ARAÚJO, 2004).

Os atributos físicos refletem limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, infiltração e movimento de água no perfil (ARAÚJO, 2004).

Os atributos químicos são fundamentais para a manutenção de toda a atividade biológica do solo, de forma que são os responsáveis pelo fornecimento de nutrientes às plantas (ARAÚJO, 2004).

A matéria orgânica é um indicador de natureza química de extrema importância na avaliação de sistemas naturais, pois tem grande influência na maioria dos processos que ocorrem no solo. Ela influencia a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos que

ocorrem nos solos. Em solos do Cerrado, de acordo com os atributos físicos, a matéria orgânica é preponderante na agregação das partículas do solo, resultando em maior estabilidade dos agregados, em retenção e manutenção do teor de água e na manutenção da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes (TISDALL; OADES, 1982). Raij (1991) argumenta que para manter o solo em condições de alta produtividade, com uma qualidade sustentável, é importante conservá-lo bem estruturado, mantendo um manejo sistematizado e adequado, visando manter a matéria orgânica do solo, evitando a compactação excessiva e tomando medidas contra a erosão, que tendem a remover do solo as partículas mais finas e mais ricas em argila e matéria orgânica.

Segundo Araújo (2004), os atributos biológicos são fundamentais na degradação da matéria orgânica adicionada ao solo, pois estas são transformadas, pelos atributos biológicos, em substâncias que favorecem a agregação do solo e que são responsáveis pela disponibilização de nutrientes às plantas. Para Doran (1994) e Islam (2000), a avaliação da qualidade do solo é necessária para a definição de uma bateria mínima de fatores a serem avaliados, levando-se em conta a escolha e qual a função do solo que se quer explicitar, visto que é possível considerar diferentes enfoques de qualidade, pois estes enfoques são dados de acordo com o processo envolvido, que pode ser voltado para: a maximização da produção ou a longo prazo; o fluxo de água no ecossistema com a maximização da sua infiltração e retenção; e a manutenção da biodiversidade existente no solo ou mesmo uma análise que leve em conta todos esses fatores (ARAÚJO, 2004). A qualidade do solo pode ser dividida em uma parte voltada para o crescimento das culturas e em uma parte dinâmica que é influenciada pelo manejo no solo (MORRIS, 2007). A qualidade do solo não pode ser medida diretamente, mas inferida pelas propriedades indicadoras dos solos. As propriedades biológicas e bioquímicas podem ser indicadores muito sensíveis às mudanças repentinas o que somente as propriedades químicas e físicas usadas na avaliação da qualidade do solo podem revelar com segurança (COSTA, 2005).

As propriedades físicas, químicas e biológicas, engajadas na qualidade do solo, otimizam a mesma ao prover um meio para o crescimento das plantas, regular a distribuição da água no meio ambiente e servir como um tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de produtos danosos ao ambiente (COSTA, 2005).

Escolhidos os fatores que servirão de indicadores de qualidade, estabelece-se valores para a condição sustentável e a não-sustentável. O uso de valores encontrados em áreas sob condições nativas é a maneira mais comum de se estabelecerem valores que

indiquem a qualidade. Portanto, os indicadores não podem ser usados isoladamente, na avaliação da qualidade do solo, necessitando interrelacionar indicadores físicos, químicos e biológicos para objetivar a pesquisa em qualidade do solo e assim, observar as possíveis interações que ocorrem no meio em escala temporal.

A qualidade de um solo pode ser avaliada pela quantificação de alguns indicadores ou atributos representados por meio das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Goedert et al (2004) classificaram os indicadores de qualidade dos solos em *efêmeros*, *intermediários* e *permanentes* de acordo com as variações que podem sofrer ao longo do tempo.

- *Indicadores efêmeros* – oscilam em curto espaço de tempo: temperatura, umidade, pH, teor de nutrientes.
- *Indicadores Intermediários* – podem ser alterados, em alguns anos, após o manejo do solo. São a densidade aparente do solo, a resistência à penetração, a permeabilidade, a estabilidade de agregados, o teor de matéria orgânica e o nível de atividade biológica.
- *Indicadores Permanentes* – são inerentes ao tipo de solo e servem para classificá-lo. São eles: a textura, a mineralogia, a profundidade, a cor e a densidade de partículas.

Os indicadores intermediários têm sido muito utilizados para monitorar a qualidade dos solos, pois estão sujeitos a variações bruscas e podem ser avaliados com o método de boa reprodutibilidade (GOEDERT; CORRÊA, 2004). A cobertura vegetal, a emissão de calor da superfície, a capacidade de infiltração de água e o balanço hídrico são outros parâmetros muito utilizados na avaliação da qualidade do solo (CORRÊA et al, 2004; CORRÊA, 2006).

Para Doran (1996), os indicadores de qualidade do solo, para serem práticos, deveriam ter uma boa correlação com os processos do ecossistema; integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; servir como estimativa de funções ou propriedades que são mais difíceis de medir diretamente; ser relativamente fáceis de usar em condições de campo; e serem sensíveis a variações no tipo de uso (manejo) e no clima. Os indicadores devem refletir as mudanças a longo prazo, mas não devem ser tão sensíveis a ponto de serem influenciados a curto prazo, devido às mudanças climáticas serem compostas por uma base de dados de solo já existente.

Contudo, é possível definir um limite de sustentabilidade para cada atividade a partir dos indicadores pré-estabelecidos. Eles serão utilizados para separar a condição sustentável da não sustentável. A menos que esse limite seja estabelecido para cada indicador, não será possível identificar uma situação de sustentabilidade (ARAÚJO, 2004).

Somente dessa forma será possível determinar o que é chamado de “qualidade do solo”, pois a qualidade é o elo fundamental entre as diversas formas de uso do solo e a característica que o define como sustentável. Se os solos ficam degradados, mais recursos em termos de tempo, dinheiro, energia e agroquímicos serão necessários para produzir ou auxiliar na regeneração e/ou recuperação de uma determinada área. Porém, se a degradação do solo é modificada e a sua qualidade é mantida ou melhorada, utilizando-se métodos de manejo adequados, a sua recuperação pode ser uma realidade. Portanto, a qualidade do solo é um componente crítico para todas as atividades que geram o seu uso, porque elas só atingem certa sustentabilidade se a qualidade do solo for mantida ou melhorada (BRASIL, 2000).

Os indicadores utilizados para avaliar a qualidade do solo estão inter-relacionados, sendo assim, para uma análise mais apurada da problemática, vários deles podem ser utilizados para a avaliação da mesma característica do solo. Logo, o ideal é utilizar os indicadores intermediários para avaliar a qualidade dos solos e, caso seja necessário e/ou importante, incrementa-se outros parâmetros necessários para uma melhor conclusão dos resultados.

Os substratos minerados apresentam atributos diversos daqueles presentes em solos que possuem horizontes diferenciados; e estrutura própria e características apropriadas ao desenvolvimento vegetal e de outras formas de vida (GOEDERT; CORRÊA, 2004). As características químicas, físicas e biológicas dos substratos de áreas mineradas têm sido consideradas como fatores limitantes dos processos de regeneração da vegetação (FARIA et al, 2007).

A qualidade do solo superficial da área em recuperação apresenta, em relação ao solo original, níveis inferiores de nutrientes e de características físicas, químicas e biológicas. Para se realizar a correção destas áreas, deve-se promover uma amostragem com a análise do máximo de parâmetros indicadores da qualidade. Os resultados dessas análises permitirão saber quais são os melhores tipos de insumos que devem ser utilizados na correção do solo. Geralmente, a primeira operação de preparo do solo é o uso de discos

para fazer o revolvimento do solo, que possibilitará uma melhor descompactação superficial do terreno.

Segundo Rodrigues et al (2007), são raras as pesquisas que procuram avaliar a qualidade do solo sob o enfoque de degradação, na qual as pesquisas precisam evoluir, pois a reabilitação de áreas degradadas não consiste de ações meramente isoladas, mas, sim, de um conjunto de atividades que atuem na recomposição da paisagem que foi degradada.

A capacidade resiliente do solo é uma avaliação da qualidade do solo, que permite saber se as funções estão sendo bem exercidas como por exemplo: manter áreas agrícolas produtivas e a qualidade da água e garantir a sobrevivência de plantas, animais e dos povos em longo prazo, sendo essa apenas uma avaliação de várias possíveis no que diz respeito a qualidade de solos (COSTA, 2005).

4.6 - INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO E SUBSTRATO

Os indicadores da qualidade do solo são propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que são medidas para monitorar as mudanças na qualidade do solo (SANTANA, 2002; GOEDERT; CORRÊA, 2004). Logo, a qualidade do solo pode ser avaliada pela quantificação de alguns atributos ou indicadores preliminarmente classificados, como ferramentas essenciais para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas. Costa (2005), cita as seguintes características desses indicadores: serem facilmente mensuráveis, acessíveis a muitos usuários, ser facilmente aplicável e serem sensíveis às variações climáticas e ao manejo. Assim, um indicador eficaz é aquele que mede a magnitude e intensidade do estresse ambiental que é sentido pelas plantas e os animais. Santana (2002) divide os indicadores em quatro grupos: visuais, físicos, químicos e biológicos.

- *Indicadores visuais* – são obtidos por meio de observações e/ou interpretações. Por exemplo: mudança de cor; acúmulo de água; competição e crescimento devido a ocorrência de plantas invasoras que podem, mediante este indicador, perceber o avanço ou não da qualidade do solo ou substrato.
- *Indicadores físicos* – a densidade, a porosidade, a estabilidade de agregados, a textura e a compactação são indicadores que refletem no desenvolvimento radicular, no grau de revegetação e na infiltração de água.

- *Indicadores químicos* – afetam a relação solo-planta, dentre eles, o autor cita: o pH, a matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases, mas há outros atributos químicos.
- *Indicadores biológicos* – neste grupo estão os micro e macroorganismos e suas atividades e subprodutos, eles auxiliam diretamente no fornecimento e na formação de nutrientes para as plantas e, ainda, trabalham na reconstrução do solo.

Com base em (SANTANA, 2002; GOEDERT; CORRÊA, 2004), os indicadores mais utilizados têm sido os *intermediários*, citados por Goedert e Corrêa (2004); no caso dos indicadores de Santana (2002), eles encontram-se divididos entre os físicos, químicos e biológicos. Mesmo assim, para monitorar a qualidade do solo, eles não estão sujeitos a fortes variações e podem ser mensurados por métodos de boa reprodutibilidade. Lembrando que não necessariamente precisa ser utilizado apenas um tipo de indicador. Pode-se acoplar, por exemplo, a cobertura vegetal da área, neste caso atributo utilizado no trabalho de Araújo (2006); a capacidade de infiltração da área; e o balanço hídrico. Os atributos do solo como indicadores da qualidade devem apresentar a perda de qualidade, para se tomar as medidas necessárias, antes que o processo se torne irreversível, assim os indicadores deverão ser utilizados de forma conjunta para avaliar sua qualidade de forma precisa. Cada região, com sua particularidade, tem o atributo determinado a depender da sensibilidade ao manejo que é um indicador desejável e serve para observação das mudanças na qualidade do solo (MORRIS, 2007).

Ao se escolher os indicadores para uma avaliação é necessário testá-los, monitorá-los para assim avaliar com eficácia as mudanças da qualidade do solo ao longo do tempo ou em diferentes escalas e identificar a heterogeneidade natural do solo, flutuações sazonais ou incertezas analíticas (MORRIS, 2007).

Os indicadores avaliados qualitativamente determinam a sua natureza, têm variação reduzida dos resultados, caso seja feito sempre pelo menos avaliador. Já os indicadores avaliados quantitativamente fornecem um resultado numérico e preciso (MORRIS, 2007). A matéria orgânica e a profundidade das raízes são indicadores muito utilizados, onde o primeiro informa níveis de fertilidade e estrutura do solo, por exemplo e o segundo informa sobre a densidade e compactação do solo.

Morris (2007) e Araújo (2004) utilizam o índice de qualidade do solo (IQS), para se avaliar um conjunto de indicadores de qualidade do solo que são obtidos através de uma expressão matemática que incluem a soma dos resultados dos atributos escolhidos.

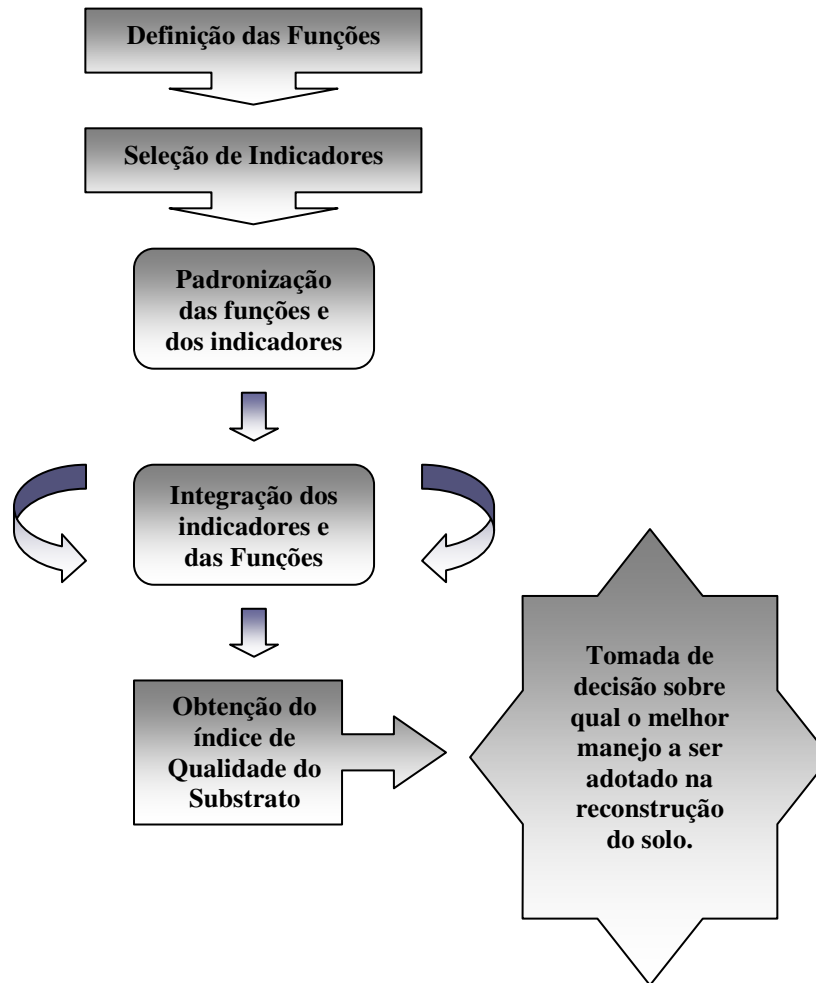


Figura 2 – Principais etapas para a determinação do IQSS.

Fonte: Souza, 2005 – com adaptações.

Entretanto, neste trabalho serão abordados os atributos físicos, químicos e biológicos em questão e será posteriormente criado um Índice de Qualidade do Solo Substrato em cinco áreas revegetadas que foram mineradas para a exploração de cascalho laterítico.

4.7 - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Segundo Lal (1999), as características físicas do solo que influenciam e modificam seus diversos atributos físicos são a porosidade, quando envolve a sua distribuição e estrutura, e a compactação com suas características. Estes atributos são utilizados como indicadores de qualidade do solo, podendo monitorar e avaliar se as atividades vão atenuar ou acentuar as degradações físicas, como a erosão e a desertificação.

O excesso de compactação limita a infiltração e a distribuição de água e gases no solo, prejudicando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, dificultando o sistema radicular e ainda diminui a porosidade total do solo. A redução do teor de matéria orgânica do solo, as práticas agrícolas e florestais, e a mineração afetam a densidade aparente e a porosidade.

Entretanto, a resistência do solo à penetração é mais influenciada pela umidade do que a pela própria densidade do solo. Quanto maior o trânsito em solos desnudos e úmidos maior a compactação, isso se faz presente em áreas mineradas. A avaliação da resistência do solo/substrato à penetração tem-se mostrado eficiente, para avaliar a qualidade dos solos, quando analisada junto com outros indicadores, como por exemplo: densidade e porosidade.

Além das modificações na porosidade e na densidade, o uso do solo provoca alterações em sua estrutura, que afetam a retenção de água e de outros indicadores que podem modificar a resistência mecânica, isso demonstra que existe uma grande inter-relação entre os atributos do solo e a necessidade de uma avaliação mais detalhada (SILVA et al, 2006).

Para Imhoff et al. (2001), a densidade aparente do solo (ρ_b) é um ótimo indicador do estado de estruturação do solo, pois porosidade e densidade estão correlacionadas.

4.7.1 Densidade Aparente (ρ_b)

A Densidade Aparente (ρ_b) é influenciada pela textura determinando valores diferentes para diferentes níveis críticos de certos solos (KIHTEL, 1979; COSTA, 2005). Ações como prática de manejo, compactação, tipo de cultura, impacto das chuvas podem ser fatores de alteração da densidade do solo. A compactação do solo ao ser medida pela ρ_b é de difícil determinação e dá uma idéia indireta e confiável.

Andrade et al (2005); Morris (2005) referem-se a medição da densidade do solo como o atributo principal que interfere no manejo de irrigação e crescimento vegetal, ressaltando sua importância em projetos de irrigação e drenagem.

4.7.2 Porosidade total do Solo (Pt)

O sistema de poros do solo é o caminho pelo qual ocorrem as trocas gasosas entre o ar atmosférico e as camadas mais profundas do solo. A existência de macroporos favorece muito a movimentação de gás carbônico e oxigênio (RAIJ, 1991).

4.7.3 Resistência Mecânica a Penetração (Rp)

A resistência do solo a penetração é um índice integrado pela densidade do solo, textura, matéria orgânica e umidade do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997; IMHOFF et al, 2000; TORMENA et al, 2004; RIBON e FILHO, 2004).

A resistência mecânica à penetração além de ser um atributo físico, reflete o grau de dificuldade para a realização do desenvolvimento radicular das plantas em um determinado solo. Além disso, ela possui uma elevada correlação com a densidade do solo, confirmando desta forma a sua importância na determinação de um índice de qualidade do solo (MORRIS, 2007). Para Araújo et al (2007) a resistência mecânica à penetração tem uma característica variável, que depende do teor de água no solo. Entretanto, essa variação na resistência mecânica à penetração pode ser minimizada desde que seja realizada a coleta de dados de forma cuidadosa, através disto, pode-se perceber as variações entre os sistemas estudados e também em relação a sua profundidade.

De acordo com Camargo et al (1997), o crescimento de raízes não é influenciado quando a resistência mecânica à penetração está abaixo de 1,1 MPa. Entretanto, no caso dos resultados obtidos nas cascalheiras, as raízes encontrarão dificuldades, pois valores acima de 2,5 MPa encontram limitações para o seu desenvolvimento e crescimento.

4.7.4 Água Disponível (Ad)

Em condições de drenagem livre, existe um máximo de água que o solo pode reter, e que corresponde ao teor existente no solo saturado, após a remoção do excesso de água, quando o movimento de drenagem praticamente termina. Esse processo é conhecido como a Capacidade de Campo (Cc). Esta ocorrência mostra que a água saiu dos poros maiores (macroporos) ficando então, retida nos microporos ou poros capilares (RAIJ, 1991).

Para que ocorra uma resposta positiva de trabalhos de recuperação de áreas degradadas deve-se perceber se o armazenamento de água é suficiente para contribuir com o processo de desenvolvimento e permanência das espécies introduzidas, pois, caso o armazenamento de água seja reduzido, estes locais serão suscetíveis a deficiência hídrica e serão seletivos no que diz respeito a abundância de espécies presentes no local.

Os solos argilosos apresentam uma capacidade de campo elevada, entretanto, o ponto de murcha atinge valores consideráveis, pois estes solos apresentam elevados potenciais de retenção de água em partículas menores e nos microporos.

Uma característica de espécies do Cerrado é capacidade do desenvolvimento de sistemas radiculares extensos e profundos, aumentando desta forma o volume explorado do solo e, assim, a possibilidade de absorver maiores quantidades de água, principalmente nos períodos da seca. Entretanto, existem condições presentes em áreas mineradas que impedem o desenvolvimento do sistema radicular, tais como camadas compactadas.

4.8 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

4.8.1 – Capacidade de Troca Catiônica

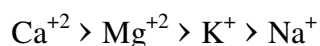
Os argilo-minerais e a matéria orgânica do solo possuem a capacidade de adsorver cátions que são essenciais à nutrição vegetal, os principais cátions são: Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ . A Capacidade de Troca Catiônica - CTC é um dos fenômenos mais importantes para a nutrição vegetal e para a manutenção da biota terrestre (ARAÚJO, 2004).

A CTC é um atributo que permite avaliar se os solos estão realizando atividades de permutação dos cátions trocáveis. A CTC é uma atividade em processo de equilíbrio químico por isso, caso ocorra um excesso de sódio na solução do solo, a reação tende para a direita e os cátions trocáveis do solo serão, em sua maior parte substituídos (RAIJ, 1991).

Raij (1991) afirma que as interações que ocorrem na maior parte dos solos é devido o excesso de cargas negativas, entretanto, estas cargas são equilibradas pela presença dos cátions trocáveis. A CTC expressa a quantidade de cargas ou de cátions retidos, por unidade de peso ou volume de solo. Além dos cátions, pode acontecer de a solução do solo apresentar uma quantidade considerável de ânions. Portanto, além dos cátions neutralizarem as cargas elétricas da superfície do solo, eles devem existir, de modo que a solução do solo seja equilibrada preservando todo o sistema (superficial e solução do solo).

Os cátions trocáveis, embora retidos na superfície das partículas do solo pelas cargas elétricas negativas da superfície, estão em equilíbrio com cátions em excesso existentes na solução do solo.

Os cátions trocáveis são retidos pelo solo na seguinte ordem (RAIJ, 1991):



O primeiro e principal fator determinante da energia de atração é a carga dos cátions, segundo o tamanho dos íons hidratados, sendo retidos os menores com maior energia. Conseqüentemente, em solos bem drenados, a freqüência natural de ocorrência dos cátions trocáveis apresenta-se, em geral, na ordem acima, mesmo quando o solo se formou de rochas mais ricas em magnésio ou potássio. Entretanto, desvios podem ocorrer em condições de má drenagem ou, em alguns casos, por liberação de magnésio ou potássio de minerais primários (RAIJ, 1991).

Raij (1991) afirma que a CTC da matéria orgânica dos solos é muito elevada. Ela é do tipo pH-dependente, originando-se por dissociação de hidroxilas de grupamentos carboxílicos e fenólicos. O mecanismo de formação de cargas na matéria orgânica tem alguma similaridade com o desenvolvimento de cargas negativas e positivas em óxidos. Entretanto, na matéria orgânica as cargas negativas desenvolvem-se a valores de pH inferiores em relação aos óxidos e apresenta um teor de acidez elevada que proíbe a ocorrência de cargas positivas nas condições normais de acidez destes solos.

A matéria orgânica apesar de ocorrer em teores bem mais baixos que a fração argila, é a principal responsável pela CTC nos solos. A contribuição da fração mineral na CTC aumenta com a profundidade (RAIJ, 1991). Por isso, a incorporação de matéria orgânica no substrato de áreas mineradas pode elevar a CTC de ambientes degradados desde que outros fatores como pH estejam em condições viáveis para a ocorrência de sucessões secundárias neste ambientes.

4.8.2 - Saturação por Bases (V%)

Curi et al (1993) definem saturação por base como sendo a proporção na qual o complexo de adsorção de um solo está saturado por cátions alcalinos e alcalino-terrosos, expressos em porcentagem, em relação a capacidade de troca catiônica.

Solos com baixa fertilidade e elevada acidez, se caracterizam por limitar o crescimento das plantas pela toxidez causada pelo Al trocável e pela baixa saturação por bases. Um dos métodos para se realizar a aplicação de corretivos e melhorar a nutrição das plantas e o método da saturação por base, obtido os valores, pode-se prever a quantidade de calcário que será necessário para auxiliar no crescimento radicular, promovendo mudanças químicas e biológicas do solo.

O uso de calcário tem-se mostrado como um importante agente responsável pela correção da acidez do solo, estimulando à atividade microbiana e aumentando a disponibilidade da maioria dos nutrientes para as plantas (SOUZA et al, 2006). A calagem é uma atividade muito utilizada em áreas de solos do Cerrado e esta atividade proporciona a elevação do pH e geralmente a elevação da saturação por bases, melhorando ainda os níveis de nutrientes na solução do solo para as plantas.

O uso de calcário aliada a adubação potássica corretiva ou de manutenção tem promovido nos solos dos Cerrados um aumento da saturação de bases que mostra-se como fundamental no desenvolvimento e na elevação no padrão de qualidade destes solos (RAIJ, 1991; SOUZA et al, 2006).

4.8.3 – Variação do Potencial Hidrogeniônico (Δ pH)

A variação do potencial Hidrogeniônico (Δ pH) é o produto entre o pH em água e o pH em CaCl₂. O uso de corretivos, tendem a elevar parte dos atributos químicos do solo que contribuirão para a melhoria dos demais atributos. Uma característica evidente em áreas degradadas pela mineração é o elevado grau de acidez destes solos.

Segundo Silva et al., (2008) a variação do pH quando positiva indica a possibilidade do predomínio de cargas positivas, entretanto, o Δ pH calculado por Silva et al, (2008) foi realizado pelo produto do pH Salino em relação ao pH obtido em água.

Malavolta (1987) afirma que solos ácidos apresentam elevado teor de alumínio (Al) e manganês (Mn) e ferro (Fe). Esses solos propiciam condições desfavoráveis para a

atividade dos microorganismos que mineralizam a matéria orgânica, que é fonte natural de nitrogênio, enxofre e boro e de outros elementos importante para o desenvolvimento das plantas. E ainda, minimiza o teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as plantas e reduz as condições para que ocorra a fixação livre e simbiótica do nitrogênio (leguminosas).

4.8.4 – Fósforo disponível (P)

Malavolta (1987) afirma que quando um solo apresenta baixos teores dos elementos essenciais para a manutenção da nutrição das plantas isto significa que a solução do solo é pobre, logo, a solução do solo é o local onde a raiz retira ou absorve os elementos essenciais, como por exemplo o fosfato.

O fósforo é um dos três macronutrientes, mais importantes e exigidos pelas plantas, e além disso é um dos nutrientes mais utilizados em projetos de revegetação e de compensação ambiental em áreas degradadas ou perturbadas (RAIJ, 1991). A importância do fósforo é devido a sua forte interação com o solo e a sua carência na forma necessária às raízes das plantas.

Os adubos fosfatados (superfosfatos, fosfato de amônio, fosfato parcialmente acidulado, termofosfatos e fosfatos naturais), embora possam ser solúveis em água com exceção dos três últimos, são fixados no solo em grande proporção; por isso, não aumentam muito o seu teor na solução do solo (MALAVOLTA, 1987).

Os nutrientes contidos nos adubos orgânicos (Estercos, Adubos verdes, Lodo de esgoto etc) somente são absorvidos pelas plantas depois de convertidos em minerais (NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+) na mesma forma que são fornecidos pelos adubos minerais ou pela solução do solo (MALAVOLTA, 1987).

Quanto maior for a exigência da planta e menor a reserva do solo, maior será a quantidade de fósforo que deve ser usada. Usualmente, quanto mais ácido for o solo, maior a quantidade de material fosfatado será usado. Por isso, para garantir o aproveitamento do fósforo incorporado, é recomendável fazer a calagem das terras ácidas elevando-se o seu pH em torno de 6,5, já que nestas condições a disponibilidade do fósforo na solução do solo será maior (MALAVOLTA, 1979).

Raij (1991) afirma que o fósforo é absorvido preferencialmente como H_2PO_4^- , conseqüência não só do efeito do pH, mas também, de uma redução de absorção de fósforo com a elevação do teor do pH da solução. Entretanto, após a absorção o fósforo é quase

que imediatamente incorporado em compostos orgânicos. Além disso, ele está presente também nos processos de transferência de energia, e um ótimo estimulador do desenvolvimento radicular, sendo essencial para a boa formação de frutos e sementes.

4.9 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

4.9.1 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

A matéria orgânica pode ser considerada como o atributo mais importante para a manutenção da sustentabilidade de ecossistemas. Sem ela, não existe uma atividade que mantenha o ciclo evolutivo e adaptativo das plantas e dos animais que habitam a área.

De acordo com Silva et al (1997), a matéria orgânica é definida pela quantidade de material orgânico que passou por uma peneira com malha de 2,0 mm de diâmetro. Logo, ela é medida pela quantidade de carbono orgânico existente no solo, que é originado pela decomposição de material vegetal, animal e de microorganismos.

O C orgânico está presente em todos os solos e é proveniente da decomposição dos vegetais, enquanto o C inorgânico é encontrado nos minerais carbonatados (SILVA; RESCK, 1997).

Existe um consenso de que a matéria orgânica do solo (MOS), mantido algumas premissas, pode ser utilizada como indicadora da qualidade ou recuperação dos solos, por dois fatores principais. Primeiro, o teor de matéria orgânica do solo é bastante sensível às práticas de manejo. Segundo, a MOS está relacionada com a maioria dos atributos e funções do solo, tais como, atividade biológica, estabilidade de agregados, estrutura, infiltração e retenção de água, resistência a erosão, capacidade de troca de cátions e disponibilidade de nutrientes para as plantas (REIS, 2006).

Além dela ser parte integrante dos indicadores químicos e biológicos, a matéria orgânica do solo exerce grande influência sobre os três tipos de indicadores (físicos, químicos e biológico) e por esta razão, tem sido considerada, como um bom indicador de recuperação de áreas degradadas (REIS, 2006).

Um das principais funções da matéria orgânica nos solos são: agregação de partículas minerais, estruturação do solo, fornecimento de nutrientes e substrato para a fauna do solo (ARAÚJO, 2004; CORRÊA; GOEDERT, 2004; ARAÚJO, 2006).

A quantidade e a qualidade do material vegetal exposto e incorporado ao solo influenciam diretamente na comunidade de organismos edáficos. Por isso, utiliza-se como indicadores da qualidade de solos e de substratos recuperados.

Cerca de 2 a 6% da massa entre 0 e 20 cm de profundidade dos solos tropicais minerais e bem drenados são constituídos de matéria orgânica (CORRÊA, 2006). Devido a atividade biológica, o solo passa a conter, através da matéria orgânica, dois importantes elementos não existentes no material de origem do solo – carbono e nitrogênio.

A matéria orgânica não só fornece funções biológicas, mas também físicas e biológicas, sendo que os fertilizantes combinados à matéria orgânica é considerada o melhor método para recuperar solos e substratos degradados, tornando-os mais propensos à revegetação. Corrêa (2006), citou os resultados da matéria orgânica quando utilizados em solos e substratos degradados que se estendem por um longo tempo:

- Potencialização da adubação química, através da elevação do CTC;
- Liberação de nutrientes;
- Redução da lixiviação de nutrientes por fertilizantes;
- Melhoria da agregação e da estruturação do substrato;
- Elevação da capacidade tampão para pH;
- Aumento da sanidade vegetal por meio dos organismos e microorganismos de solos da rizosfera.

Segundo Raij (1991), a matéria orgânica é uma fonte de nutrientes que funciona também como condicionador de solo, agregando partículas minerais e conferindo ao solo condições favoráveis de porosidade e além disso, ela aumenta a retenção de água em solos e é responsável, em grande parte, pela capacidade de troca de cátions em solos e ainda auxilia como meio para a introdução e fixação de organismos vivos no solo.

No solo existe matéria orgânica em vários estágios de decomposição, desde tecidos vivos, até um produto que já sofreu uma série de processos bioquímicos de transformação; o desenvolvimento gradativo de vegetais e outros organismos, no processo de transformação de rochas em solos, permite o acúmulo progressivo de matéria orgânica, até um nível de equilíbrio entre adições e perdas por decomposição. O húmus é um tipo de matéria orgânica de cor escura, bem decomposta e relativamente estável, na qual não é mais possível reconhecer os materiais que lhe deram origem, porém é muito caro (RAIJ, 1991; CORRÊA, 2005).

A composição química da matéria orgânica conserva os elementos remanescentes dos seres vivos que a produziram, ou seja, carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo. Esses elementos formam a estrutura básica da matéria orgânica, constituída de cadeias de carbono, envolvendo oxigênio e hidrogênio e grupamentos funcionais diversos nos quais destacam-se o nitrogênio, o enxofre e o fósforo (CORRÊA, 2005).

Tabela 4. Atributos químicos de cinco fontes de matéria orgânica (% na matéria seca)

Material	**MO	pH	N	P	K	Ca	Mg
Lodo de esgoto	61%	6,5	4,5%	2%	0,9%	1,7%	3%
Composto de lixo	35%	5,8	0,7%	1,9%	0,2%	?	?
Esterco bovino	57%	?	1,7%	0,9%	0,4%	3,8%	0,6%
Vermicomposto	80%	?	1,5%	2%	0,2%	?	?
Esterco de ave	65%	6,0	5%	2%	2%	?	?

Fonte: Corrêa (2006)

** Matéria orgânica, base seca.

No processo de revegetação de áreas degradadas, podem ser usados uma gama de materiais orgânicos. Na Tabela 1 é possível perceber o grau de importância que cada fonte de matéria orgânica tem, dependendo da atividade a ser executada e do valor pode-se utilizar uma ou mais fontes de modo que evite o uso de fertilizantes químicos na incorporação de nutrientes no solo ou em áreas que serão recuperadas.

Ao escolher a fonte de matéria orgânica para ser utilizada em PRAD's, o lodo de esgoto e o composto de lixo, por ter baixo custo, por ser produzido em grande quantidade, e por não haver restrições sanitárias a seu uso na recuperação de áreas degradadas pela mineração, é uma alternativa que pode resolver problemas relacionados ao processo de recuperação (CORRÊA, 2006). Mesmo variando quanto à origem, estado físico e umidade, os lodos de esgotos são ricos em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo; é considerado uma das melhores opções de fonte de matéria orgânica, por melhorarem a estrutura de substratos e aumentarem a disponibilidade de nutrientes e a sobrevivência de mudas arbóreas (CORRÊA, 2006).

Nos sistemas convencionais de tratamento do Brasil, matéria orgânica e nutrientes são retirados do esgoto para se concentrarem sob forma de lodo de esgoto. Porém, alguns

problemas são enfrentados ao se optar pela utilização dessa matéria orgânica permitindo-se fazer uma análise prévia desses riscos; organismos patogênicos e metais pesados são constantes nos lodos de esgoto, gerando riscos ambientais e à saúde pública, sendo as jazidas mineradas os ambientes mais propícios a receber o lodo de esgoto obedecendo ao cuidado de se manter fechados a visitação pública, à não produção de alimentos, e cuidados com a saúde ocupacional dos trabalhadores que manuseiam o lodo (CORRÊA, 2006).

No Distrito Federal, menos de 5% da produção de lodo de esgoto são utilizadas na execução de PRAD's, embora áreas mineradas tenham alto potencial para receber lodo de esgoto (PINTO *et al*, 1993 *apud* CORRÊA, 2005).

Métodos de compostagem, secagem a calor, aplicação de cal, radiação solar são usados como meios de estabilização e higienização do lodo de esgoto para assim esse material se tornar menos ofensivo e ao homem e ao meio ambiente (CORRÊA, 2006). Nitrogênio e fósforo, nutrientes que favorecem o crescimento das plantas, são mais abundantes no lodo de esgoto que no composto de lixo, perdendo apenas para o potássio que é reduzido à metade quando comparado ao composto de lixo e o aumento da capacidade da água disponível dos substratos adubados com lodo de esgoto é um mecanismo que o favorece (CORRÊA, 2006).

4.9.2 Macrofauna do Solo

A macrofauna do solo é representada por uma comunidade de organismos com o comprimento do corpo que varia desde 4,0 a 80 mm. Estes organismos podem ser utilizados como indicadores de qualidade, já que eles são responsáveis pela modificação das características físicas, químicas e biológicas de solos e substratos, pois, eles escavam a superfície, ingerem e transportam material orgânico para camadas mais profundas e assim, contribuem na dinâmica do ecossistema. Conhecer a composição da fauna edáfica de uma área pode ser um bom parâmetro para se avaliar o grau de sustentabilidade de acordo com a prática de manejo utilizada ou de revegetação de áreas degradadas (SANTOS, 1981; RAIJ, 1991; DUCATTI, 2002; ARAÚJO, 2004; SANTOS, 2006).

Entretanto, Correia e Andrade (1999) classificam a fauna do solo em relação ao seu diâmetro da seguinte forma: a microfauna compreende animais do solo com diâmetro corporal entre 4 e 100 μm como protozoários, rotíferos, copépodos, tardígrados e

nematódeos. A mesofauna apresenta diâmetro corporal entre 100 µm e 2 mm e é composta de ácaros, colêmbolos, alguns grupos de miriápodes, aracnídeos e diversas ordens de insetos, alguns oligoquetos e crustáceos. A macrofauna apresenta diâmetro corporal entre 2 mm e 20 mm e pode ser composta por quase todas as ordens encontradas na mesofauna, executando-se ácaros, colêmbolos, proturos e dipluros. Animais do solo com diâmetro superior a 20 mm são classificados como megafauna (CORREIA & ANDRADE, 1999).

Raij (1991) afirma que os organismos superiores² têm uma ação física importante no solo. Estes organismos fazem parte do solo de maneira indissociável, sendo responsáveis por diversos processos de transformação que ocorrem, principalmente relacionados à matéria orgânica. Além disso, a Fauna do solo e suas interações com o meio podem fornecer indicações sobre o real estado de reabilitação de áreas mineradas (CARNEIRO et al, 2008).

A perspectiva de utilização da fauna edáfica como indicador da qualidade de solos, é decorrente da sua intrínseca relação com as características químicas e com o teor de matéria orgânica do solo, além de ser responsável por regular toda a biologia do solo (CORREIA, 1997).

A fauna além de ser agente condicionante do solo, sofre efeito e reflete características do habitat tanto a nível macro (clima, tipo de solo e fitofisionomia) quanto a nível micro (quantidade / qualidade da serapilheira ou matéria orgânica e tipos de manejo), sendo assim, como importante indicador biológico da qualidade do solo (CORREIA, 1997).

De acordo com Assad e Vargas (1997), as respostas da fauna à alteração do meio podem ser as mais diversas possíveis, dependendo do tipo de sistema, e mais precisamente do tipo de impacto, as reações dos diferentes grupos de organismos podem ser negativas, positivas ou neutras, isto é, pode haver aumento, diminuição ou manutenção do tamanho da população. E mesmo quando não há modificação do tamanho da população, pode haver mudança na estrutura da população – diminuição da quantidade de formas juvenis, de ovos, etc., aumento de determinadas castas de insetos sociais. Assim, a redução da diversidade de espécies e a modificação da estrutura da população de alguns grupos da fauna edáfica podem representar um indicador de degradação do solo e de perda de sua sustentabilidade (REIS, 2006). Além disso, a fauna edáfica apresenta a capacidade de melhorar características químicas e físicas do solo, (REIS, 2006).

¹Os organismos superiores considerados por Raij (1991) são os vegetais, animais e o homem.

Correia e Andrade (1999), afirmam que a atividade de fragmentação do material vegetal da serapilheira é uma das funções mais importantes desempenhadas pela fauna do solo, particularmente a macrofauna, pois, apesar de não promover grandes modificações químicas na serapilheira ingerida, ela propicia profundas modificações físicas, como a redução do tamanho das partículas com o conseqüente aumento da superfície relativa e hidratação, tais características, aliadas ao aumento da quantidade de microrganismos que ocorre durante a passagem pelo tubo digestivo dos invertebrados da fauna do solo, tornam as fezes pontos de grande atividade microbiana, promovendo uma rápida decomposição e liberação de nutrientes.

A macrofauna auxilia nas propriedades físicas do solo, através da agregação e porosidade, e têm sido citadas como as alterações mais relevantes. Os organismos do solo interferem em diferentes níveis na formação de agregados, influenciando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ASSAD, 1997).

Giracca et al (2003) citam que o estudo de uma comunidade da fauna edáfica em um sistema de cultivo, é trabalhoso e difícil, tendo utilizado como alternativa a avaliação de alguns grupos taxonômicos importantes, que retratem parte dessa comunidade.

Outra forma de abordagem da fauna é o estudo da sua composição em nível de grandes grupos taxonômicos, tais como classe, ordem e ocasionalmente família. De acordo com Correia (1997), quando o estudo da organização da comunidade se restringe a grandes grupos taxonômicos, o acesso a muitos usuários é facilitado, não sendo necessário um conhecimento taxonômico profundo, ampliando as possibilidades de sua utilização como indicador, como é o caso do método utilizado neste trabalho para a determinação da diversidade de ecossistemas degradados em relação aos naturais (GRAY, 1999).

Lavelle e Pashanasi (1989) afirmam que a abundância e estrutura das comunidades podem variar muito com as condições de clima, solo e vegetação. Afirmam ainda, que as mudanças no uso do solo (transformação de uma área de floresta em área de cultivo, por exemplo) geralmente resulta em dramáticas e rápidas mudanças na vegetação, capazes de afetar grandemente as comunidades de invertebrados de solo. A dificuldade encontrada para a utilização da fauna do solo como indicador é justamente distinguir aquelas variações em geral, pontuais e passageiras, destas de caráter mais permanente e que em geral afetam grandes áreas.

Raij (1991) considera que as formigas e os cupins e as minhocas são os principais agentes para contribuir na elevação da qualidade de solos. Entretanto, os dois primeiros são

os colonizadores mais abundantes em áreas degradadas pela mineração (VASCONCELOS, 1998; REIS, 2006; SANTOS, 2006).

De acordo com Vasconcelos (1998) tem crescido o número de trabalhos que utilizam a comunidade de formigas como indicadores biológicos do estado de degradação ou de recuperação dos ecossistemas terrestres e em estudos de conservação da biodiversidade, por que as formigas são fáceis de coletar, relativamente fáceis de separar ao nível de espécies, e, geralmente sensíveis a mudanças no ambiente, além de representar extrema importância ecológica na maioria dos ecossistemas tropicais e subtropicais.

Hofer et al (2000) mostram que os colêmbolos e os cupins têm uma importância numérica e em termos de biomassa significativa, e podem participar de maneira fundamental na decomposição da serapilheira, sobretudo através das suas interações com a microflora.

Raij (1991) considera as minhocas como um dos animais mais importantes do solo. Elas formam extensos canais e melhoram a estrutura do solo, pelo processamento de materiais que atravessam seus organismos. No trato intestinal das minhocas existem microorganismos, que transformam a matéria orgânica fresca em matéria orgânica humificada e formas mais simples de compostos nitrogenados, incluindo uréia e amônia. Segundo Raij (1991) Os dejetos de minhocas tendem a ser mais ricos que a média do solo em que vivem, mas isso deve-se à alimentação seletiva de produtos mais ricos em matéria orgânica. As minhocas são exigentes em cálcio, não se adaptando bem em solos ácidos.

Além disso, necessitam matéria orgânica fresca, rica em nitrogênio, que lhes serve de alimento. O esterco e o lodo de esgoto são muito apreciados pelas minhocas e elas ainda desempenham o papel de transportar os nutrientes provenientes da matéria orgânica para o interior do solo (RAIJ, 1991).

Duarte (2004) estudando a comunidade de fauna edáfica em fragmentos da Mata de Araucária no sul do Brasil verificou que os fragmentos pequenos e mais alterados sofrem uma redução acentuada na abundância de diversos grupos da fauna do solo, principalmente os ácaros, os coleópteros e, paralelamente, um aumento da abundância de grupos mais tolerantes aos efeitos da fragmentação e pastejo. Sugere ainda, que esta diminuição afete na abundância de microartrópodes e também da sua diversidade, pode comprometer, a médio e longo prazos, os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, afetando a sustentabilidade do solo.

No caso específico de áreas degradadas, em que se faz necessário a “reconstrução” do solo, a sucessão de grupos da fauna que ocorre com a melhoria nas características edáficas, pode ser considerada como um importante indicador. Conhecer a comunidade é saber quais espécies estão presentes, qual e como é o espaço por elas ocupados e em que momento elas aparecem ao longo de um processo sucessional (CORREIA, 1997) ou de um processo de recuperação ambiental de uma área anteriormente impactada. Estes conhecimentos poderão viabilizar o uso da fauna edáfica como indicador do processo de recuperação ambiental de áreas exploradas pela mineração, por atividades agrícolas e de pastagens.

Doran et al, (1996) consideraram a utilização da fauna edáfica como indicador da qualidade do solo, um parâmetro muitas vezes frágil, uma vez que as populações de fauna do solo sofrem grande influência sazonal e sua sobrevivência é extremamente dependente da presença de habitats específicos.

De acordo com Santana (1999), no entanto, um bom indicador deve ser de fácil medição; responder facilmente a mudanças ambientais; ter limite claro separando condições de sustentabilidade daquelas de não sustentabilidade; e ser diretamente relacionado com os requerimentos de qualidade do solo. Verifica-se que praticamente todas essas características são apresentadas pela comunidade da fauna do solo, o que a credencia como indicador potencial, notadamente para distinção de ambientais naturais de ambientes antropizados.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREAS AVALIADAS

Foram escolhidas cinco áreas mineradas no Distrito Federal que foram revegetadas com o uso de lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica. Os trabalhos de revegetação dessas jazidas ocorreram entre 1997 e 2006.

Os dados para a obtenção da qualidade do solo foram avaliados em cinco áreas de Cerrado (controle) e outras cinco de substrato minerado com declividade em torno de 5%. O Cerrado adjacente as áreas mineradas serviu como referência para a comparação das alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos em cada área.

As áreas a serem avaliadas estão localizadas nas figuras 3 a 7 abaixo e com as respectivas coordenadas geográficas na tabela 5. Lembrando que as cascalheiras analisadas terão como controle as áreas de Cerrado adjacente que não sofreram nenhum tipo de degradação.

Tabela 5 – Referências geográficas de cinco cascalheiras no Distrito Federal.

Áreas	Coordenadas – Graus	Ano de Aplicação do Lodo	Dosagem
QI 29	15° 48' 44'' S 47° 47' 35'' O	1997	
DF 430	15° 39' 58'' S 48° 10' 47'' O	1998	20 T/ha + Fertilizantes
BR 060	16° 05' 37'' S 48° 25' 04'' O	2002	400 T/ha + Calcário
BR 070	15° 48' 52'' S 48° 10' 40'' O	2005	
BR 251	15° 57' 02'' S 47° 42' 39'' O	2008	

De acordo com dados do IBGE (2006) o clima predominante do Distrito Federal é o Tropical de Savana – Aw, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual varia de 1.100 a 1.700 mm, com praticamente 84% do seu volume chuvoso ocorrendo

durante o verão. A temperatura média anual varia entre 18 e 22°C e a umidade relativa do ar tem sua variação em torno de 12 a 90%.

A cascalheira na QI 29 é uma área localizada no altiplano leste (Barragem do Lago Paranoá) e tem como referência a DF 001 (Estrada Parque Contorno – Epct), via de ligação às Cidades Satélites do Itapoã e São Sebastião. De acordo com a tabela 5 acima a revegetação desta cascalheira com o uso do lodo de esgoto ocorreu em 1997.



Figura 3 – Mapa de localização de cascalheira na QI 29.

A figura 4 abaixo apresenta a Cascalheira na DF 430, definida pelos pontos na tabela 5 acima, ela está localizada próxima da Cidade Satélite de Brazlândia/DF. O material extraído desta cascalheira foi utilizado como matéria prima para a execução dos serviços de pavimentação desta via (DF 430).



Figura 4 – Mapa de localização de cascalheira na DF 430.

A cascalheira na BR 060 está localizada no interior da Fazenda Asa Branca, cujo local passou por intervenções de exploração de cascalho laterítico. Segundo os técnicos da CAESB esta cascalheira tem uma área total de 40 hectares e apresenta-se em um estágio avançado de recuperação ambiental. A figura 5 abaixo retrata o período de extração de cascalho nesta área.

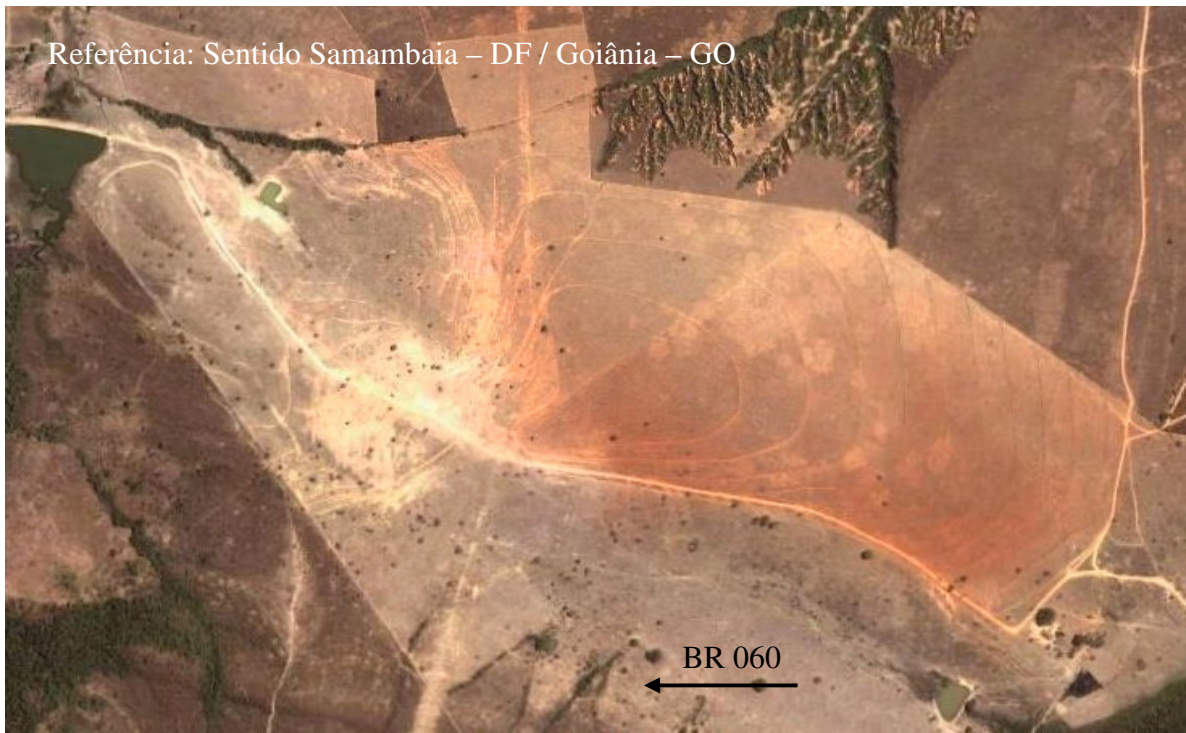


Figura 5 – Mapa de localização de cascalheira na BR 060.

A figura 6 abaixo tem como referência a Cascalheira Santa Maria, localizada na BR 070, a localização desta cascalheira dar-se pelo sentido da via de acesso a Cidade de Águas Lindas/GO partindo da Cidade de Ceilândia.

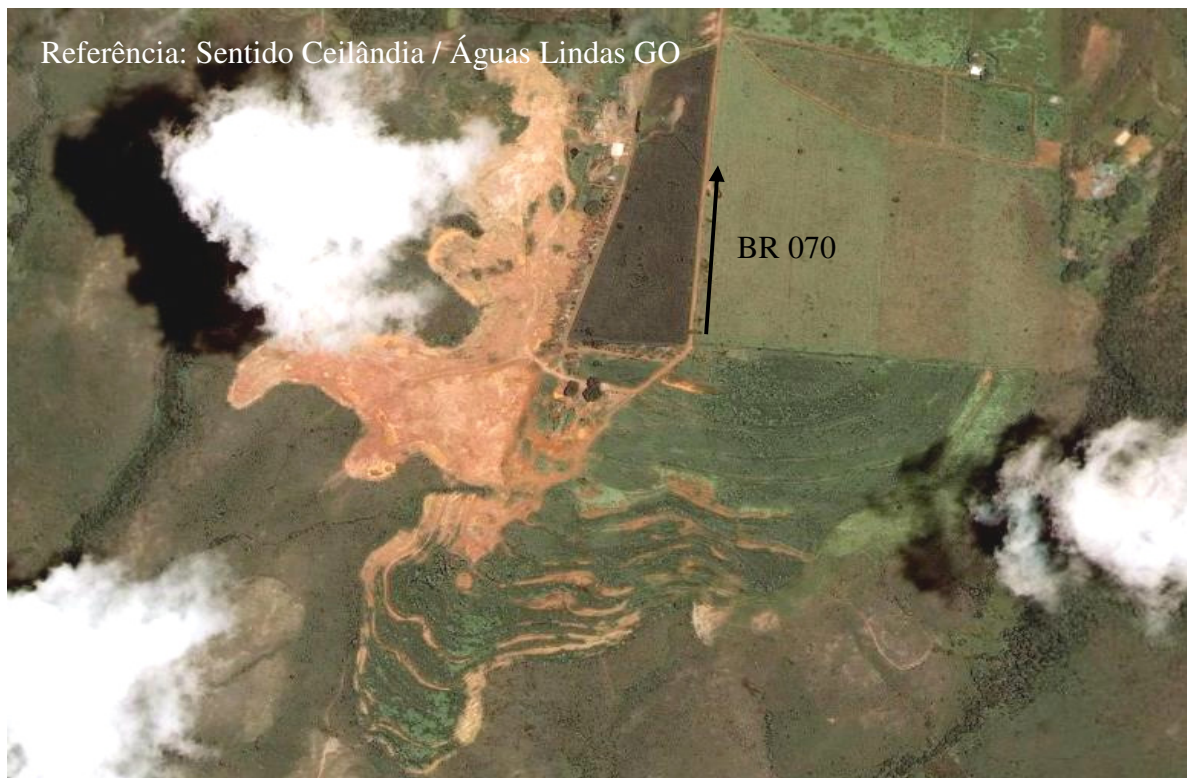


Figura 6 – Mapa de localização de cascalheira na BR 070.

A Cascalheira localizada na BR 251 (Figura 7) teve o seu material extraído para uso nas atividades de pavimentação da Cidade de São Sebastião e esta cascalheira encontra-se na saída desta cidade satélite sentido a Unai/MG.



Figura 7 – Mapa de localização de cascalheira na BR 251.

5.2 ATRIBUTOS PARA A DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

5.2.1 ATRIBUTOS FÍSICOS

De acordo com EMBRAPA (1997), existem cerca de 28 atributos físicos que podem ser empregados para avaliação da qualidade do substratos minerados. Para os atributos físicos os dados foram analisados por laboratório particular (SOLOQUÍMICA – Análises de Solo, localizado na Cidade de Brasília/DF). Entretanto, este laboratório foi responsável apenas pela análise da densidade aparente e dos dados da curva de umidade fornecendo a Capacidade de Campo (Cc) e o Ponto de Murcha Permanente (PMP).

Para os atributos físicos os dados obtidos e analisados foram os seguintes:

A descrição destes dados foi devido o uso dos métodos conforme Embrapa (1997) sendo assim, fez-se uma descrição de cada processo para uma melhor compreensão dos dados obtidos em laboratório.

A) A mensuração da *Densidade Aparente* (ρ_b) dos solos pode ser efetuada de várias maneiras. A densidade aparente é o peso por unidade de volume do solo inalterado,

excluindo a água (RAIJ, 1991). A coleta de amostras de solo para a realização desta análise foi feita pelo Método do Anel Volumétrico (Kopecky) é o mais utilizado, pois é de fácil operação e interpretação de dados. O método consiste em se introduzir um anel de metal, de 100 cm³, no solo para a coleta de uma amostra indeformada de solo e seus componentes (fração mineral, orgânicas e fases líquida e gasosa). Neste caso, foram retiradas três amostras indeformadas na profundidade de 0 – 10 cm, com 3 repetições por área. Em seguida, a amostra é seca na estufa a 105° C por 24 h, colocada em um dessecador para voltar à temperatura ambiente e posteriormente pesada. A Densidade Aparente (ρ_b) é então calculada pela fórmula abaixo, conforme Embrapa (1997):

$$\rho_b \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} = \left(\frac{\text{massa da amostra seca a } 105^\circ \text{ C por } 24 \text{ h}}{\text{volume da amostra}} \right)$$

B) A **Densidade Real (Dr)** ou **Densidade de partículas (Dp)**, é o peso por unidade de volume das partículas sólidas do solo, excluindo o ar e água. Para se obter os dados desta densidade e assim calcular a porosidade dos solos e substratos, deve-se realizar o Método do Balão Volumétrico, com emprego de álcool etílico (EMBRAPA, 1997). Entretanto, neste caso, foi considerado 2,65 g.cm⁻³ como sendo a densidade de partículas do substrato.

C) A **Porosidade Total (Pt)** do solo/substrato é o volume de vazios totais do solo que pode estar preenchido por ar e/ou água. Através da relação entre a densidade aparente (ρ_b) e a densidade de partículas ou real (2,65g.cm⁻³), pode-se obter a porosidade total. Ela foi calculada por meio da equação abaixo, conforme Embrapa (1997):

$$Pt \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 1 - \frac{\rho_b}{2,65}$$

A porosidade total nada mais é do que a percentagem do volume do solo (ou rocha) não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. A porosidade total inclui a macroporosidade e a microporosidade, e pode ser calculada pela relação entre as densidades real (partículas) e do solo (densidade aparente). A porosidade nos solos são classificadas em dois tipos, os macroporos, de maior diâmetro, através dos

quais a água drena e o ar se move livremente, e os microporos, responsáveis por retenção de água por capilaridade (RAIJ, 1991).

D) A **Resistência à Penetração (R_p)** foi medida com um penetrômetro de impacto Stolf (STOLF et al., 1983) que mede a resistência do solo/substrato ao longo do perfil. Foram selecionados cinco pontos aleatoriamente em cada área ($n = 5$), visto que os dados foram coletados nas áreas mineradas e nos seus respectivos controles. Os testes foram realizados no período chuvoso (2007/2008), utilizando-se um penetrômetro de impacto – modelo IAA/PLANALSUCAR, sendo que a massa de impacto com 4 kg sofreu queda livre em 40 cm, correspondente ao comprimento da haste, conforme figura 8 abaixo (STOLF et al., 1983).

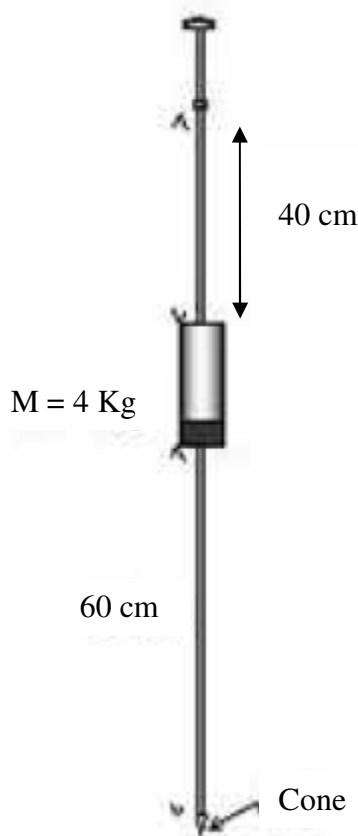


Figura 8 – Penetrômetro de impacto MODELO: IAA/PLANALSUCAR. Fonte: Vaz, et al., 2002 – com adaptações).

Os dados foram coletados com o intuito de avaliar quais as camadas do solo/substrato estão compactadas ou adensadas, e se as raízes terão ou não dificuldade de penetrar no solo.

Este atributo é importante para avaliar a facilidade com que uma sonda pode ser introduzida no solo. Pode ser expressa em unidades de distância, velocidade, força ou trabalho, dependendo do modelo de penetrômetro utilizado.

Os resultados obtidos foram convertidos para resistência do solo a penetração (R_p), por meio da equação 1, abaixo (STOLF et al., 1991):

$$R_p \text{ (kgf.cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,89 N \text{ (Impactos.dm}^{-1}\text{)}; \quad \text{(Equação 1)}$$

A conversão da R_p em kgf.cm^{-2} para Mpa, foi realizada através da multiplicação do resultado obtido na Equação 1 pela constante 0,098 (OLIVEIRA et al., 2007). Foram traçadas curvas de compactação para cada perfil utilizando-se os valores médios de cada perfil sendo aplicados em programa específico (EXCEL, 2003).

E) *Água disponível (Ad)* – o princípio, conforme indicado por Cassel e Nielsen (1986), é alcançado quando a drenagem inicialmente úmida da parte do perfil do solo se torna insignificante.

Foram coletadas amostras indeformadas de substrato com cilindros de 100 cm^3 entre a profundidade de 0 – 10 cm. As amostras foram acondicionadas em papel alumínio e levadas para o laboratório, onde foram saturadas por água por 24 h e, em seguida, foram colocadas em uma mesa de tensão a 10 Kpa e 1.500 Kpa, conforme descrito em Embrapa (1997).

Os dados obtidos para a capacidade de campo (C_c) foram adquiridos mediante os resultados sob a tensão a 10 Kpa, enquanto que sob a tensão de 1.500 Kpa encontrou-se os valores do ponto de murcha permanente (PMP), momento em que toda a água da amostra foi extraída. O produto da C_c em relação a PMP é conhecido como o teor de água disponível ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) no solo às plantas.

5.2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

Os atributos químicos foram analisados por laboratório particular (CAMPO – Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal, localizado na Cidade de Paracatu/MG). Os resultados foram obtidos conforme o manual de análise de solo (EMBRAPA, 1997).

Nesta etapa, a coleta das amostras para as análises químicas foram realizadas com amostras deformadas, com a coleta de 10 amostras (sub-amostra) de solo/substrato onde foram feitas 03 amostras compostas de solo/substrato (n = 3), na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram secas ao ar e à sombra e em seguida peneiradas com malha de 2 mm.

A análise dos atributos químicos foram realizados pelo laboratório citado acima e fornecido apenas os resultados sem a necessidade do uso de fórmulas para a obtenção dos resultados. Entretanto, neste trabalho os atributos foram organizados e citados os métodos de análise propostos pela Embrapa (1997) para uma melhor compreensão e interpretação dos resultados obtidos. Logo, os critérios definidos para os atributos químicos são:

A) A **Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou T)** de acordo com Embrapa (1997), existem 4 técnicas de extração sendo que neste trabalho foi utilizado pelo laboratório citando o método do KCl N. Este método consiste em pesar 7,5g de solo, onde são colocados no erlenmeyer de 250 mL e adiciona-se 150 mL de solução de KCl N. O erlenmeyer é fechado com rolha de borracha e agitado com movimentos circulares, evitando molhar a rolha, esta operação deve ser repetida várias vezes ao dia.

Por fim, após a última agitação, desfaz-se o montículo que é formado na parte central no fundo do erlenmeyer e então, coloca-se em repouso por uma noite. Então, são pipetadas duas alíquotas de 50 mL da parte sobrenadante da solução, para a determinação do alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocável.

Então, a soma de cátions trocáveis que um solo pode adsorver, em seu pH natural (ou de campo). É Estimada geralmente pela soma de bases (valor S) mais Al extraível pela solução normal de KCl.

O valor da CTC é dado pela equação:

$$T \text{ (cmol}_c \text{ / Kg)} = S + (H^+ + Al^{+++})$$

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+$$

B) **Saturação por Bases (V%)** – a saturação por bases é importante, pois identifica a proporção na qual o complexo de adsorção de um solo está saturado por

cátions alcalinos e alcalino-terrosos, expressa em porcentagem, em relação a capacidade de troca catiônica, pela fórmula (EMBRAPA, 1997):

$$V\% = (Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+}) \times 100 / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+} + Al^{+3} + H^{+}).$$

C) O princípio para encontrar encontrar o **pH** em água segue a medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H^{+} na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água na proporção de 1:2,5 (EMBRAPA, 1997; EMBRAPA, 1999). O procedimento é simples coloca-se 10 cm³ de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) em copo de plástico, numerado, de 100 mL. Adiciona-se 25 mL de água destilada, agitando a amostra com um bastão de vidro individual e deixa-se em repouso por uma hora. Por fim, agita-se cada mistura com o bastão, mergulhando os eletrodos na suspensão homogeneizada e assim, procede-se a leitura do pH. Não há cálculos para serem efetuados, pois a leitura é dada no ato da medição. Lembrando que esta metodologia serve para a extração do pH através do uso de KCl no lugar da água. No caso do KCl a solução de KCl 1N é dissolvida 74,5g de sua composição em água até completar 1 litro. Sendo assim, através destes dois dados, pH (H₂O e KCl) pode-se calcular o ΔpH através do cálculo abaixo:

$$\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$$

D) **Fósforo disponível (P)** – será para estimar a quantidade de fósforo possivelmente disponível (EMBRAPA, 1997) nas áreas mineradas tendo como controle a área de cerrado mais próxima da área minerada estudada.

As análises químicas serão feitas em laboratório, conforme a metodologia Embrapa (1997), as amostras serão coletadas entre novembro e janeiro. Serão coletadas amostras deformadas (Amostra Composta) da camada de 0 a 20 cm, com 5 repetições (n = 5) para cada área. Logo, todas as amostras serão retiradas de forma aleatória e as amostras de Cerrado (*controle*) adjacentes serão analisadas e servirá como referência para a construção do Índice de Qualidade do Solo/Substrato – IQSS.

Sendo assim, o pH em água e em KCl 1N serão determinados em laboratório comercial, conforme EMBRAPA (1997). A capacidade de troca catiônica (CTC) será determinada em laboratório comercial por meio da soma das concentrações de Ca^{+2} , Mg^{+2} ,

K^+ , Na^+ , Al^{+3} e H^+ existentes nas amostras coletadas. A acidez potencial ($Al^{+3} + H^+$) será extraída com uma solução de acetato de cálcio 1 N a $pH = 7$, e concentrações serão determinadas por meio de uma solução de NaOH e presença de fenolftaleína como indicador, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

Por fim, a soma de bases trocáveis (S) e a saturação por bases (V%) serão também determinadas em laboratório comercial, conforme EMBRAPA (1997).

5.2.3 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

Os atributos biológicos dos substratos foram avaliados por meio da matéria orgânica e macrofauna do solo. Para análise da matéria orgânica, foram coletadas três amostras compostas por dez sub-amostras de substrato de cada área revegetada e de solo de cada área controle.

Foram coletadas dez amostras de 20 x 20 x 15 cm (0 a 15 cm de profundidade), de cada uma das áreas revegetadas e respectivas áreas de controle. A macrofauna foi manualmente extraída das amostras, com auxílio de pinças e lupas. As espécies foram fixadas em álcool 90% e identificadas por grupo taxonômico (Ordens).

Para cálculo da diversidade da macrofauna, utilizou-se conceito de morfoespécies, por meio do índice de comparação seqüencial - Sequential Comparison Index/SCI (Gray, 1999). Trata-se de uma ferramenta que quantifica a diversidade de ecossistemas e é capaz de comparar a diversidade de diferentes locais e ecossistemas.

O cálculo do SCI é realizado de forma aleatória durante o processo de catação e identificação taxonômica (Ordem) da fauna edáfica. Foi atribuído a cada tipo de organismo um símbolo; uma vez que sucede um organismo diferente do seu antecessor, inicia-se uma nova série e as séries são determinadas pela seleção dos organismos que não são semelhantes ao anterior. Por exemplo:

Ordens: Isoptera (símbolo – I); Himenoptera (símbolo – H); Coleoptera (símbolo – C).

Seqüencial: II HHHHH C I C HH I
1 2 3 4 5 6 7

Neste caso ocorreram 7 séries e 13 indivíduos para o cálculo do SCI para uma determinada amostra de solo. Sendo assim, o SCI é a razão do número de séries (A) pelo total de indivíduos da amostra (B).

$$SCI = A/B \quad \text{Equação (1)}$$

Após a determinação do SCI pode-se determinar o valor médio através da razão entre o somatório dos índices (Σ SCI) pelo somatório da quantidade de amostras coletadas (Σ n) por área.

$$SCI_M = \Sigma SCI / \Sigma n \quad \text{Equação (2)}$$

Após a determinação do índice de diversidade (GRAY, 1999; CAIRNS, 1968) os valores foram importantes para a o cálculo do Índice de Qualidade do Substrato das áreas mineradas.

No caso da matéria orgânica do solo (MOS) ela é um atributo biológico que foi determinado através da coleta de 10 sub-amostras deformadas por área, com três repetições, para a formação de 3 amostras compostas de solo para cada área. Logo, o material coletado foi analisado pelo laboratório CAMPO – Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal, localizado na Cidade de Paracatu/MG).

5.3. ÍNDICE DE QUALIDADE DO SUBSTRATO (IQSS)

A Avaliação da qualidade do substrato minerado neste trabalho foi baseado no modelo desenvolvido por Araújo (2004) com base no trabalho de Islam e Weil (2000) e foram considerados os seguintes atributos de qualidade para cada um deles, sendo que os físicos são: densidade aparente, porosidade total, água disponível e resistência mecânica a penetração. Os químicos são: Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou T), saturação por bases (V%), Δ pH e Fósforo disponível (P). Por fim, os biológicos são: Matéria Orgânica do Solo e Macrofauna do solo (blocos de solo).

Entretanto, para que o modelo fique bem ajustado, deve-se adotar as seguintes premissas:

1. No Cerrado nativo os seus atributos de qualidade do solo serão utilizados como referência. Isto se deve a condição de conservação ambiental do local e devido as características ecológicas e ambientais estarem em equilíbrio com o meio. Sendo, portanto, considerada a qualidade igual a 100%;
2. Os atributos físicos, químicos e biológicos serão igualmente considerados importantes para a determinação da qualidade do solo, sendo atribuído o mesmo peso para cada indicador;
3. Os três atributos de qualidade do solo possuem em cada grupo a mesma relação de importância, sendo o peso atribuído a cada indicador resultante da razão entre o peso de cada grupo em relação ao número de indicadores que o compõe.

Para que os resultados encontrados possam ser melhores analisados, o cálculo da qualidade do substrato será realizado de forma individual para cada área

Será utilizada a camada de solo/substrato de 0-10 cm. Cada atributo, possui os seus indicadores e o cálculo para cada um é a soma da percentagem dos desvios em relação ao solo de Cerrado.

Dessa forma, encontra-se abaixo a fórmula geral para este cálculo:

$$A_{(F, Q, B)} = \sum Lz \quad (1)$$

Onde:

$$Lz = a + [a \cdot (Cn - \text{Min}_{(1,2,3,\dots,n)}) \cdot Cn^{-1} \cdot b] \quad (2)$$

Sendo assim:

- ✓ **Cn** – valor do atributo avaliado, do solo de referência (Cerrado Nativo);
- ✓ **Min** – valor do atributo avaliado, de acordo com a área minerada analisada (1,2,...,5,...n);
- ✓ **Lz** – valor do indicador (z), avaliado para as áreas mineradas, na camada de 0 a 10 cm, ou de acordo com a metodologia descrita pelo trabalho, sendo comparado com o Cerrado Nativo, considerando o $Lz \geq 0$;

Z – são os atributos: ρ_b , Pt, Rp, Ad, CTC, V%, ΔpH , P - disponível, Macrofauna (*Sequential Comparison Index - SCI*) e Matéria Orgânica do Solo (MOS).

- ✓ **a** – 100% / n° de indicadores.
- ✓ **b** – 1,0 (se e somente se a redução do valor do indicador for considerada desejável);
-1,0 (se e somente se, o aumento do valor do indicador for considerado desejável).

Por fim, será criado um diagrama com três vértices onde cada um será representado pelas variáveis físicas, químicas e biológicas, variando de 0 a 100%. Sendo possível a ocorrência de valores superiores a 100% nos casos em que o conjunto de atributos for superior a área de referência. Como a área de referência neste caso é o Cerrado e considerando que ele esteja ecologicamente atuando de forma sustentável e quanto mais próximo dos resultados do Cerrado no diagrama significam que há sustentabilidade na área minerada pesquisada em análise.

O cálculo do Índice de Qualidade de Solo Substrato (IQSS) será a razão das áreas geométricas do triângulo formado entre os três vértices do diagrama das áreas mineradas analisadas em relação a área de Cerrado nativo, considerando ainda, os três tipos de atributos respectivamente para cada diagrama.

Sendo assim:

$$\text{IQSS} = A_{(1,2,3,\dots,n)} \cdot A_x^{-1} \quad (3)$$

Onde:

- $A_{(1,2,3,\dots,n)}$ – Área geométrica formada entre os três vértices de atributos no diagrama modelo, para cada área minerada (1,2,3...n);
- A_x^{-1} – Área geométrica formada entre os três vértices de atributos no diagrama modelo, para área de Cerrado Nativo adjacente a cascalheira.

6. RESULTADOS

Os resultados foram organizados de acordo com tipo de atributo avaliado, comparando-se a área minerada com o Cerrado nativo adjacente. Cada uma destas cinco áreas foram avaliadas considerando que a atividade de exploração e o objetivo de recuperação serem os mesmos. Além disso, gerou-se um ordenamento das tabelas com os respectivos atributos para se avaliar a qualidade do substrato revegetado de cada cascalheira pelo tempo decorrido desde a revegetação do local.

6.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS

6.1.1 CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA

A CTC tem a finalidade de determinar a capacidade que os argilominerais têm em reter ou ceder os cátions trocáveis (CURI et al., 1993). No caso dos substratos revegetados ela variou de 3,0 a 23,8 $\text{cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 20 cm, enquanto que nos solos sob Cerrados valores variaram de 4,3 a 9,97 $\text{cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ na mesma profundidade. Os substratos das cascalheiras localizadas na BR 251, BR 070 e BR 060 a CTC apresentou os maiores valores de CTCtotal (Tabela 6) pois, a revegetação destas áreas com o uso do lodo de esgoto está muito recente se comparado com as demais. No entanto, a cascalheira localizada na QI 29 apresentou valores inferiores em relação as demais e também em relação ao solo sob Cerrado adjacente. Isso deve-se aos teores de matéria orgânica existentes nos substrato, pois a CTC é influenciada pelo conteúdo e qualidade da matéria orgânica (Tabela 13).

Mello et al. (2006) afirmam que os valores de CTC em um Latossolo Vermelho ocorrem em locais onde o teor de matéria orgânica e argila são maiores, porque estas contribuem para o maior desenvolvimento de cargas negativas no solo e, conseqüentemente, maior armazenamento de nutrientes. Enquanto isso, Pinheiro (2008) em seu trabalho de avaliação da recuperação da cascalheira no Aeroporto Internacional de Brasília JK, obteve valores próximos aos resultados obtidos neste trabalho.

A incorporação de matéria orgânica ao substrato da área na QI 29 ocorreu há doze anos, em 1997, e a vegetação que se estabeleceu pode ter contribuído para a adição de

matéria orgânica ao substrato ao longo desse tempo. Os valores elevados de CTC na camada superficial analisada (0-20 cm) deve-se, ao aumento dos teores de matéria orgânica e provavelmente, devido o uso de fertilizantes e corretivos, como foi o caso das cascalheiras localizadas na DF 430 e BR 060.

Na tabela 04 pode-se confirmar a presença de nutrientes fosfatados no Lodo de Esgoto, visto que os valores de matéria orgânica e fósforo disponível são superiores se comparados as áreas de Cerrado adjacentes.

No caso dos solos de Cerrado, a CTC é baixa devido os Latossolos serem muito intemperizados com o componente argila de pouca atividade (COSTA, 2005). Logo, a utilização de calcário nestas áreas é importante para aumentar a CTC efetiva desses solos em relação à condição anterior, pois, desta forma, gera-se cargas negativas dependentes de pH.

6.1.2 SATURAÇÃO POR BASE (V%)

A saturação de bases dos substratos revegetados apresentam valores superiores aos encontrados em solos sob Cerrado (Tabela 6). O efeito da saturação por bases está relacionado com a capacidade produtiva da vegetação. Isso interfere na capacidade de regeneração das áreas degradadas e pode contribuir nos processos de introdução e permanência de indivíduos nos locais degradados. A elevação da saturação por bases pode aumentar a disponibilidade de alguns elementos, como também diminuir de outros. FAGERIA et al. (2002) relatam que o aumento da saturação por bases de 30% para valores acima de 60% contribuem para o aumento do teor de boro e para a redução dos teores de ferro, manganês, zinco e cobre. Nesse caso, as reduções nos teores de ferro e manganês estão relacionadas com a precipitação de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e de MnO_2 com o aumento do pH.

A execução de trabalhos de revegetação em áreas degradadas pela mineração tendem a realizar a aplicação de calcário nos substratos minerados ou em covas (PINHEIRO, 2008) reduzindo os teores de alumínio trocável, seguido da elevação da saturação por bases. Logo, este resultado pode ser percebido na tabela de análises químicas em anexo onde as taxas de saturação por base quando estão acima de 30% gerando-se uma redução nas taxas de saturação por alumínio (m%; ver anexo 1 – análises químicas).

Apenas as cascalheiras localizadas na BR 070 e BR 251 apresentam saturação por bases superior a 50% o que caracteriza um solo com concentrações de nutrientes em níveis

ótimos, para o crescimento de plantas. Entretanto, as demais áreas caracterizam-se como um solo distrófico ($V < 50\%$), pouco fértil, lembrando que estes resultados foram analisados por laboratório particular.

6.1.3 VARIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (ΔpH)

Os valores de ΔpH são apresentados na Tabela 6. A variação do pH entre as áreas mineradas e as áreas de Cerrado adjacentes não tiveram uma diferença que comprometessem os seus valores.

Entretanto, sabe-se que a disponibilidade de nutrientes no solo está relacionada aos valores de pH, por isso, um aumento do pH que o deixa entre 6,0 e 6,5 proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes, exceto alumínio, ferro, cobre, manganês e zinco (PINHEIRO, 2008; MALAVOLTA, 1987).

Comparando-se os valores das cascalheiras revegetadas, a DF 430 obteve a maior variação, seguido da QI 29 (- 0,97 e - 0,63 respectivamente), enquanto que nas demais a variação foi menor. Todavia, percebe-se ainda que a cascalheira da BR 251, BR 060 e 070 a saturação por bases, a CTC e o fósforo disponível nestas, apresentaram as maiores médias, o que pode-se inferir a importância que um atributo tem na interação com os demais beneficiando a recuperação de um ambiente degradado.

SILVA et al. (2008) afirmam que a variação do pH quando positiva indica a possibilidade do predomínio de cargas positivas, entretanto, neste trabalho ocorreu o predomínio de cargas negativas nos substratos revegetados, que geram CTC.

Quando o ΔpH é positivo ou seja o pH_{KCl} é maior que o pH_{H_2O} esta ocorrência caracteriza-se em solos ácidos, muito intemperizados normalmente ocorrem na parte inferior do horizonte B e tais solos praticamente não possuem a capacidade de reter bases na sua fração mineral (CURI et al., 1993).

6.1.4 FÓSFORO DISPONÍVEL (P – disponível)

As concentrações de fósforo disponível nos substratos revegetados foram superiores àquelas mensuradas nos solos sob Cerrado nativo (Tabela 6). Na cascalheira da DF 430 a sua elevação foi de 254% em relação ao solo sob o Cerrado adjacente à jazida.

O teor de P – disponível nas cascalheiras da BR 251, BR 070 e BR 060 apresentam-se muito altos, sendo que sob Cerrado geralmente estes valores são muito baixos (SOUSA et al., 2004). Entretanto, esta quantidade excessiva de fósforo na presença de óxidos de ferro e alumínio, formam compostos estáveis e de baixa solubilidade, resultando na imobilidade de grande parte do fósforo presente no substrato, deixando-o na forma não-lábil no solo (CASAGRANDE et al., 2006; RAIJ, 1991).

Os dados obtidos de P-disponível neste trabalho estão de acordo com a variação encontrada por Lopes (1983), que verificou uma variação de 0,1 a 16,5 mg.dm⁻³, sendo que os mais de 90% dos solos de Cerrado apresentaram teores menores que 2,0 mg.dm⁻³. A elevação dos teores de P-disponível em substratos nem sempre é muito eficaz devido a imobilidade deste elemento no perfil, pois envolve o pH do solo e a sua mineralogia.

Além disso, do total de fósforo existente em solos de Cerrado, aproximadamente 75% encontram-se fixados, outros 24,5% sob a forma de P-orgânico e 0,5% na forma P-lábil. De acordo com Malavolta e Kliemann (1985) menos de 0,1% do P-total encontra-se na solução do solo em condições disponíveis a absorção pelas plantas. Visto que a adubação fosfatada ainda depende da proporção de argila e do pH do substrato.

Entretanto, o uso de corretivos de acidez como o calcário podem contribuir na elevação do teor de P-disponível e ainda reduzir os teores de alumínio trocável devido a elevação da saturação por bases, e isto pode ser percebido na tabela do anexo 1 – análise química, pois, a medida que se eleva a saturação por bases (V%) a saturação por alumínio apresentou-se com valores inferiores (m%).

No caso da cascalheira na BR 251, ela apresentou teores de P – disponível que ultrapassaram os 60.000% em relação ao Cerrado adjacente. Logo, com o passar do tempo, o fósforo se tornará menos disponível, pois ele será lentamente fixado pelos minerais do solo, fazendo parte da fração não lábil do solo. Com o passar do tempo o teor de P – disponível tende a diminuir como pode ser percebido pelas cascalheiras localizadas na QI 29 e DF 430 que foram revegetadas a 12 e 11 anos, respectivamente.

Na área revegetada da QI 29, o teor de fósforo foi de 1.265% maior em relação ao solo sob o Cerrado adjacente. Entretanto, o P-disponível na QI 29 corresponde a apenas 1,9% do total na cascalheira da BR 251.

De acordo com a tabela 6 abaixo, os teores de saturação por base nas áreas mineradas estão superiores as áreas de Cerrado adjacente o que de certa forma confirma um teor elevado de P-disponível no solo.

Tabela 6. Valores médios com os respectivos desvios dos atributos químicos determinados para avaliar a qualidade do solo na profundidade de 0-20 cm nas áreas de cascalheiras e de Cerrado nativo adjacentes (n = 3).

Áreas	CTCt cmolc/dm ³	ΔpH	P mg/dm ³	V%
Cascalheiras				
QI29.N	5,67 ± 0,40	- 0,63 ± 0,05	26,96 ± 7,73	29,33 ± 6,13
DF430.N	3,03 ± 0,31	- 0,97 ± 0,09	4,83 ± 3,52	37,33 ± 0,94
BR060.N	18,53 ± 0,78	- 0,23 ± 0,05	1054,96 ± 46,84	47,67 ± 4,99
BR070.N	20,40 ± 2,55	- 0,13 ± 0,05	1438,53 ± 105,56	54,00 ± 4,24
BR251.N	23,80 ± 1,10	- 0,07 ± 0,05	1380,30 ± 108,09	57,33 ± 6,24
Cerrado				
QI29.C	4,33 ± 0,21	- 0,93 ± 0,05	2,13 ± 0,36	9,00 ± 2,83
DF430.C	7,23 ± 0,17	- 1,00 ± 0,00	1,90 ± 0,00	10,00 ± 1,63
BR060.C	9,97 ± 0,39	- 0,80 ± 0,14	9,80 ± 10,96	6,33 ± 1,70
BR070.C	8,17 ± 0,24	- 0,70 ± 0,08	12,40 ± 13,15	18,00 ± 1,63
BR251.C	7,27 ± 0,17	- 0,87 ± 0,09	2,30 ± 0,92	22,00 ± 3,74

N - corresponde as áreas mineradas; C – corresponde ao Cerrado adjacente.

6.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

6.2.1 DENSIDADE

A densidade aparente (ρ_b) dos substratos revegetados variou de 0,74 a 1,37 g cm⁻³, enquanto que para as área de Cerrado adjacente esta variação ficou em torno de 1,00 a 1,28 g cm⁻³ (Tabela 9).

Neves et al., (2007) relatam que a densidade do solo é maior nas camadas superficiais (0 – 20 cm), com valores entre 0,96 e 1,18 para áreas expostas as atividades agrosilvipastoris, com com exceção do Cerrado nativo que apresentou uma densidade 0,93 g.cm⁻³ na camada de 0 a 5 cm, tal resposta reflete a condição estrutural original do solo, local onde os restos vegetais se encontram e maior quantidade, em relação a redução do teor de matéria orgânica em profundidade.

A densidade do solo possui uma relação estreita com o tipo de manejo realizado no solo e com o teor argila em sua composição granulométrica, visto que eles necessitam estar com uma densidade abaixo de 1,55 g cm⁻³ para terem condições de promoverem o

crescimento radicular (CAMARGO & ALLEONI, 1997). O maior valor encontrado neste estudo foi na jazida da DF 430 ($1,37 \text{ g.cm}^{-3}$), enquanto que o menor foi encontrado na jazida da BR 251 ($0,74 \text{ g.cm}^{-3}$).

Corrêa e Leite (1998) explicam que o nível de compactação dos solos minerados geralmente diminuem, igualando-se as áreas de Cerrado a partir de 50 cm de profundidade. Leite et al., (1994) reduziram a densidade aparente de $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ para $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ somente após a descompactação do substrato minerado no Parque Nacional de Brasília. Este tipo de prática conservação do solo é importante e deve ser realizado sempre que o substrato apresentar um grau de compactação elevado devido a movimentação de maquinário pesado nestas áreas.

Pode-se considerar que os valores de densidade aparente apresentados neste trabalho foram relativamente baixos se comparados aos trabalhos de Leite et al., (1994); D'Andréa (2001); Neves et al., (2007). Apenas o Cerrado na BR 060 apresentou uma densidade superior ($1,28 \text{ g.cm}^{-3}$) ao trabalho de D'Andréa (2001) em um Cerrado com Latossolo Vermelho – Escuro ($1,22 \text{ g.cm}^{-3}$).

No caso do valor obtido para a densidade de partículas, foi considerado um valor de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (RAIJ, 1991).

6.2.2 POROSIDADE TOTAL

Mello et al., (1984) interpretam a porosidade em relação a densidade aparente (ρ_b) pelo valor encontrado na densidade, visto que um aumento no seu valor, geralmente significa uma redução na quantidade de espaços vazios (macroporos). Esta redução da quantidade de macroporos nos substratos minerados, significa, que a infiltração de água no solo será menor e ainda que a restrição ao desenvolvimento radicular em solos drenados será muito maior, dependendo da sua granulometria.

A porosidade é o volume de solo ocupado por ar e água. De acordo com os dados da Tabela 9, a porosidade mostra uma variação significativa, quando comparada as áreas de solo sob Cerrado. No caso das áreas revegetadas, a porosidade variou de 48,43 a 71,95% o que significa dizer que o uso de medidas de conservação do solo podem ter contribuído em valores elevados em cascalheiras que foram revegetadas sob a fiscalização de órgãos competentes. Comparando-se os resultados entre as áreas mineradas e o seu cerrado adjacente, apenas as jazidas da DF 430, BR 070 e QI 29 não apresentaram valores

superiores aos solos sob Cerrado. Os valores obtidos corroboram os dados obtidos na densidade do solo.

Pode-se perceber na Tabela 9 o comportamento do volume total de poros é influenciado de forma inversa em relação a densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total processo relatado também em Neves et al., (2007) e Bertol et al., (2004).

A camada superficial (0-20 cm) sujeita a um maior contato com os implementos agrícolas utilizados para a preparação do substrato geralmente estão sujeitas a apresentarem um aumento da macroporosidade visto que os macroporos nesta camada condicionam uma melhor difusão de oxigênio e drenagem do perfil e isto pôde ser percebido nos trabalhos de Tormena et al., (2002) e Neves et al., (2007).

Os valores encontrados para a porosidade variaram de 48 a 71% e 51 a 62% nos substratos revegetados e solos sob Cerrado respectivamente. Estes valores se comparados com trabalhos em áreas que foram manejadas com objetivos agronômicos, encontram-se dentro da faixa em trabalhos já relatados na literatura (GOEDERT, 2005; CARVALHO et al., 2004; GOEDERT et al., 2002; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Kiehl (1979) afirma que a porosidade total de um solo ideal para desenvolvimento das plantas deve ser de 50%, sendo a sua distribuição de poros por tamanho representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos.

6.2.3 ÁGUA DISPONÍVEL

Não se observam diferenças significativas entre os valores de Água Disponível nos substratos revegetados em relação aos respectivos solos de Cerrado adjacentes (Tabela 9).

E entretanto, na BR 251 a área minerada foi quase o dobro do valor do Cerrado isto se deve ao teor de argila presente no substrato, visto que ela influencia no teor de água disponível. Mendes (1989) ainda afirma que além da granulometria, um elevado grau de compactação em substratos implica em um menor volume de água disponível às plantas e conseqüentemente, na redução da biomassa aérea.

Porém, considerando o valor adotado por Goedert (2005) para o atributo em questão, os substratos apresentaram valores muito abaixo do considerado de qualidade que é de $\geq 13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Todavia, os valores encontraram-se muito próximos entre si, o que confere uma característica interessante entre as áreas estudadas.

Pode-se dizer que estes dados encontram-se coerentes com os encontrados para a densidade e porosidade total do solo visto que eles foram similares apesar de diferenciarem quanto a sua textura. A variação deste atributo no solo está relacionada com a estrutura do solo enquanto que a textura permanece praticamente a mesma independente do grau de interferência no solo.

6.2.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO

Os níveis de resistência mecânica à penetração medidos nos substratos revegetados são superiores aos mensurados nos solos sob Cerrado. Houve uma tendência para as cascalheiras onde as faixas de 10 a 30 cm de profundidade obtiveram uma elevação no valor de resistência mecânica a penetração (Tabelas 10 e 11).

Sugere-se a elaboração da coleta de dados que possam diagnosticar a relação do tempo pelo nível de resistência mecânica do substrato a penetração, pois, a resistência mecânica a penetração é dificultada principalmente no início devido a movimentação excessiva de maquinário pesado nestas áreas. Silva et al. (2006) consideram a compactação do solo como o surgimento de uma compressão ocorrendo desta forma, o aumento da densidade e a redução do volume de espaços porosos.

Logo, o aumento na resistência mecânica a penetração pode ser restritivo ao crescimento radicular, quando os valores estão entre 1,5 a 4,0 MPa (ARSHAD et al., 1996).

Oliveira et al. (2007) comprovaram a estreita relação da densidade e umidade com a resistência mecânica a penetração em Latossolos. Esses autores perceberam uma certa restrição para o desenvolvimento de cultivares, quando o solo se encontrava com pouca umidade devido a elevada resistência mecânica a penetração interferir na quantidade de macroporos nestes solos.

Observa-se na Tabela 10 que toda camada (0 – 30 cm) apresenta resistência limitante para a ocorrência do crescimento radicular inicial para a cascalheira localizada na DF 430, cujo valor limitante é em torno de 2,5 MPa.

Contudo, a cascalheira localizada na BR 060 apresenta na camada de 0 a 12 cm valores inferiores ao valor limitante de 2,5 Mpa. Considerando os valores admitidos por Arshad et al., (1996) esta camada aumenta para 20 cm.

A figura 9 abaixo reflete o comportamento da resistência mecânica à penetração na DF 430 para a cascalheira na profundidade de 2 a 4 centímetros uma resistência a penetração de 3,13 Mpa o que demonstra uma elevação da compactação do terreno e estes valores elevados se mantiveram até a profundidade de 30 cm. Logo, estes valores não fornecem um ambiente propício ao crescimento e desenvolvimento radicular.

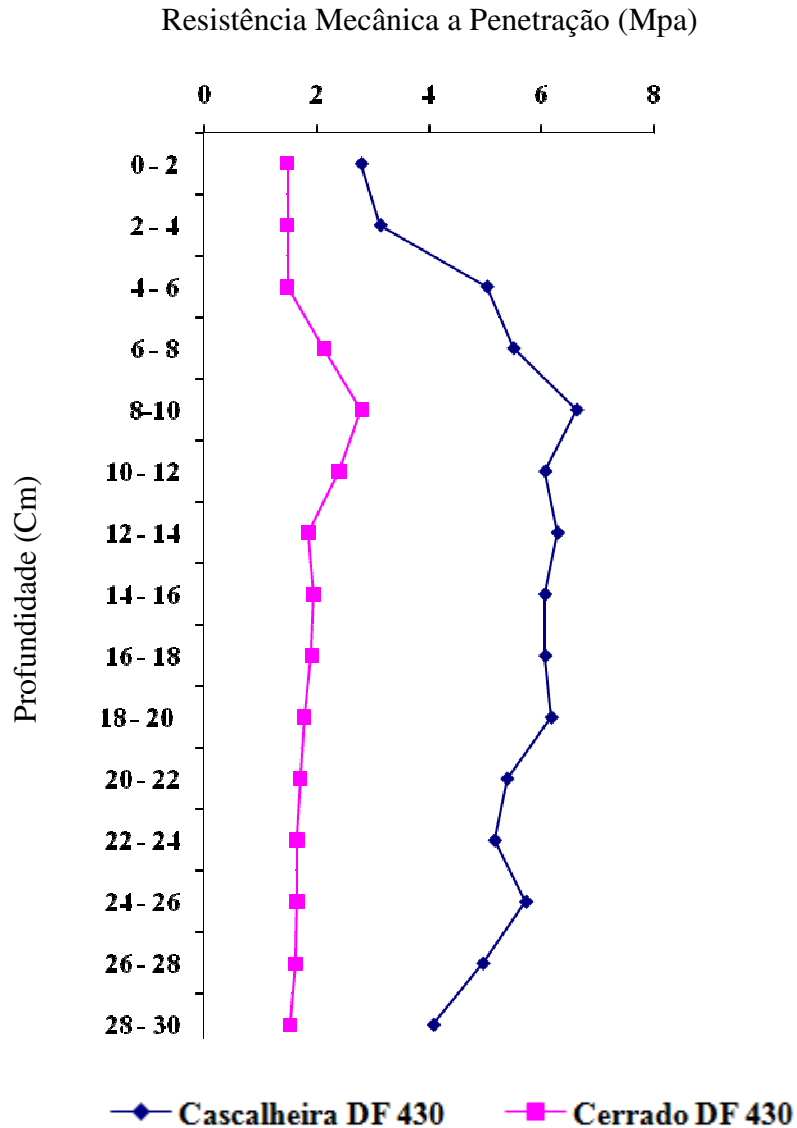


Figura 9 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da DF 430.

A Figura 10 abaixo, caracteriza a cascalheira localizada na BR 251 e reflete uma variação na resistência mecânica a penetração de 2 a 3 vezes superior da cascalheira em relação a área de Cerrado adjacente. Observa-se ainda que na camada de 0 a 6 cm a

resistência mecânica a penetração oferece suporte e condições para o crescimento radicular nesta camada.

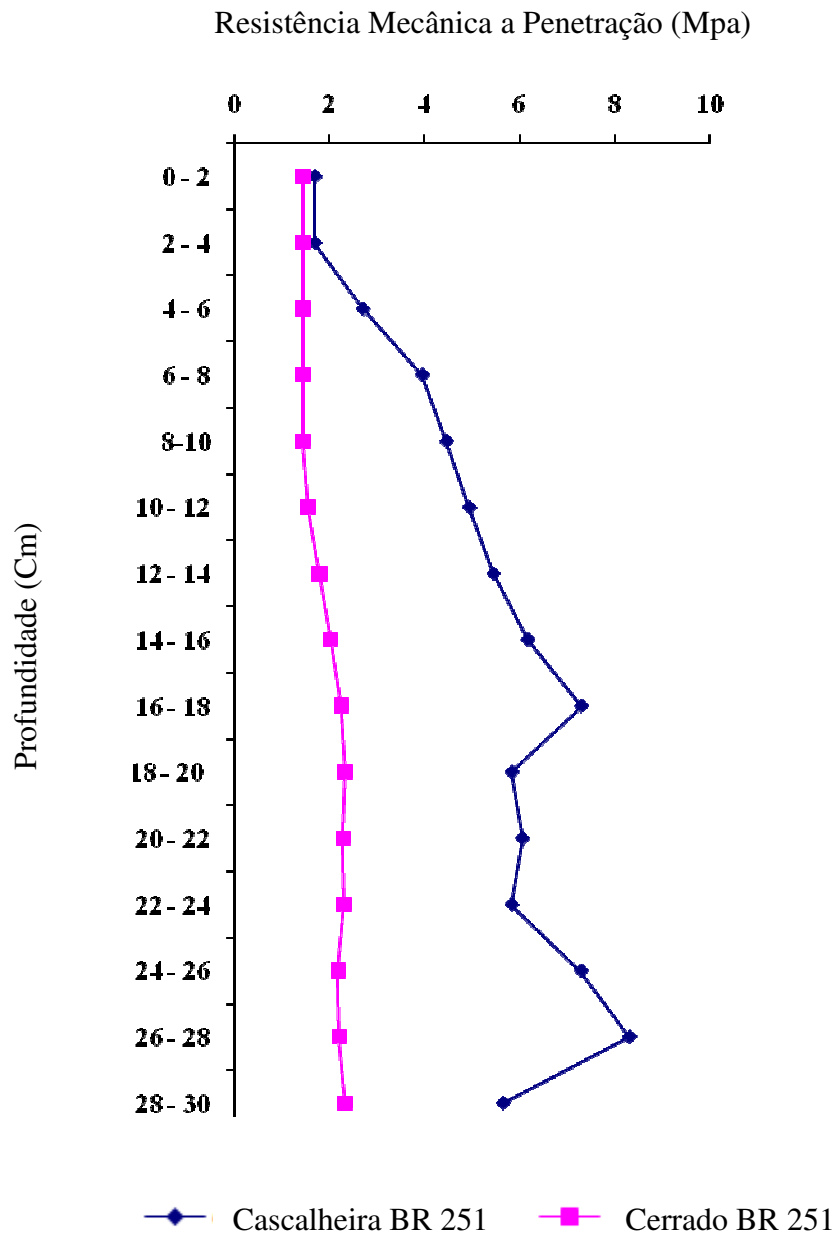


Figura 10 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 251.

No caso da cascalheira Santa Maria localizada na BR 070 a sua resistência a penetração até a camada de 0 a 10 cm apresentou valores inferiores quando comparados com o Cerrado adjacente, isto se deve a camada superficial do Cerrado possuir uma grande quantidade de cascalho em sua composição e isto pode ser observado na tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Massa de cascalho analisado em amostras compostas na profundidade de 0 a 20 cm com 3 repetições em área Minerada e de Cerrado, localizados na BR 070.

Massa (Kg)	Área			Média	Desvio	IC
	BR 070 N1	BR 070 N2	BR 070 N3			
M1.070.N	0,92	1,3	1,1	1,106	0,156	0,176
M2.070.N	0,49	0,67	0,58	0,5793	0,0710	0,0804
Mc.070.N	0,43	0,63	0,52	0,5267	0,0847	0,0958
	BR 070 C1	BR 070 C2	BR 070 C3	Média	Desvio	IC
M1.070.C	1,22	1,45	1,03	1,2333	0,1729	0,1957
M2.070.C	0,51	0,62	0,47	0,5297	0,0623	0,0705
Mc.070.C	0,72	0,84	0,56	0,7037	0,1130	0,1278

M1 – Massa Total (Solo + Cascalho); M2 – Massa peneirada (Sem Cascalho); Mc – Massa de Cascalho; N – Área minerada e C – Cerrado.

Na camada de 8 a 30 cm de profundidade a resistência mecânica a penetração no Cerrado (BR 070) apresentou-se com valores elevados, sendo interessante antes mesmo do processo de exploração do cascalho nesta área, realizar um estudo florístico do local para assim, utilizar os indivíduos que responderão melhor caso em um estudo de recuperação fossem introduzidas espécies arbóreas em ambientes com características semelhantes a este. Isto pode contribuir em uma escolha rápida das melhores espécies adaptadas e com características possíveis de desenvolvimento em áreas com uma elevada resistência mecânica a penetração.

Enquanto que na faixa de 10 a 30 cm os valores de resistência mecânica à penetração na área explorada foi superior de 2 a 4 vezes em relação ao Cerrado adjacente.

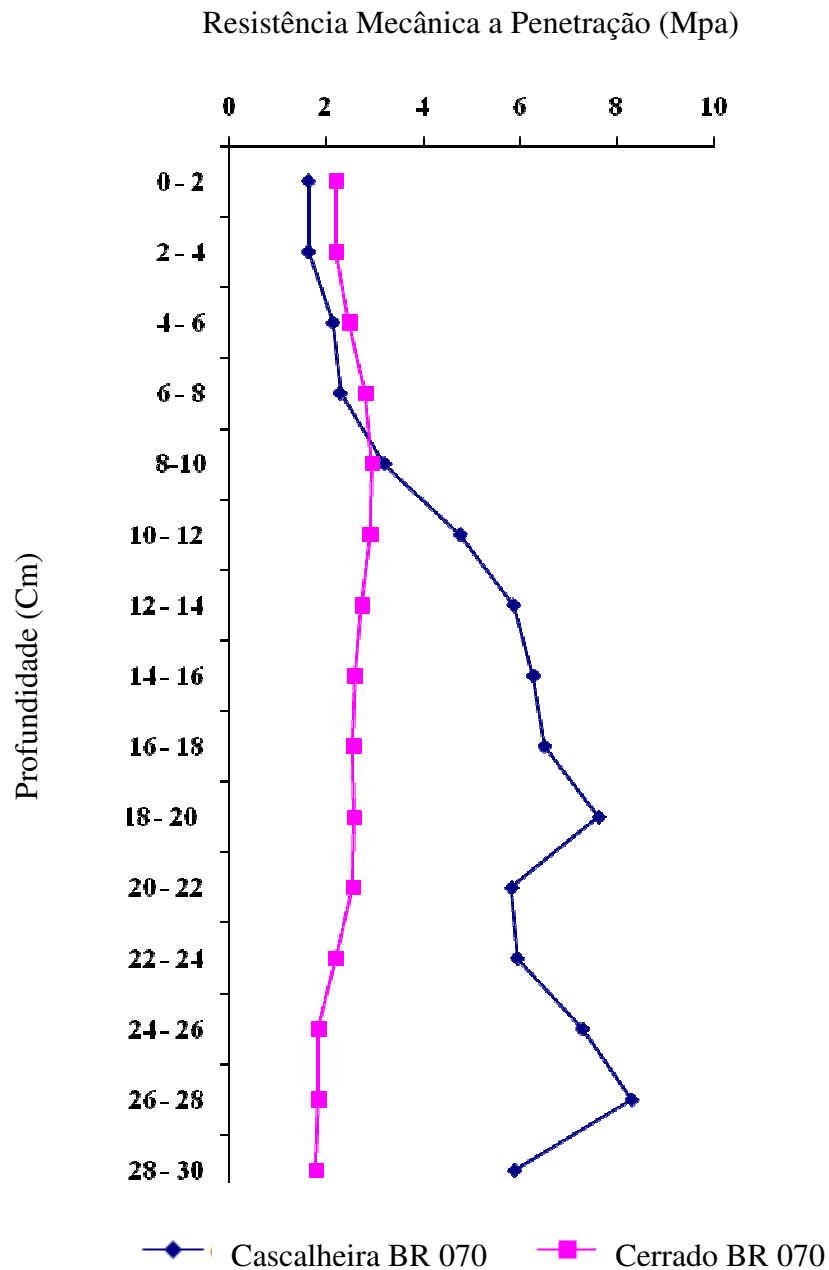


Figura 11 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 070.

A cascalheira estudada na BR 060 está localizada no interior da Fazenda Asa Branca e percebeu-se um aumento da resistência mecânica a penetração a medida que a profundidade aumentava. A camada de 0 a 12 cm apresenta-se em condições propícias para o crescimento radicular. No entanto, a partir da camada de 10 cm, inicia-se um processo de restrição ao crescimento radicular, uma vez que a resistência mecânica à penetração na cascalheira foi superior de 2 a 5 vezes em relação a resistência do Cerrado adjacente. Silva et al, (2005) afirmam que a presença de matéria orgânica propicia para uma maior eficiência de raízes e microorganismos contribuindo para uma ação estruturadora do solo,

permitindo maior amplitude dos limites de resistência à penetração, podendo nestas condições o limite restritivo ser de 5,0 Mpa.

Segundo informações coletadas na sede da CAESB, companhia responsável pelo lançamento de lodo de esgoto nesta área, a exploração de cascalho foi acima do corte permitido pelo órgão ambiental, então, a elevada resistência mecânica a penetração no local deve-se a exploração de cascalho ter chegado próximo a rocha-matriz o que aumentou significativamente o grau de compactação, pois, além disso, houve na época o movimento de maquinário pesado na área para exploração.

Além disso, a tabela 8 abaixo mostra que a massa de cascalho presente na área de Cerrado é muito inferior em relação a área de cascalho. Acredita-se, que no processo de exploração, houve a necessidade de realizar um corte profundo no perfil do solo desta área para realizar a extração de cascalho.

Tabela 8 – Massa de cascalho analisado em amostras compostas na profundidade de 0 a 20 cm com 3 repetições em área Minerada e de Cerrado, localizados na BR 060.

Massa (Kg)	Área			Média	Desvio	IC
	BR 060 N1	BR 060 N2	BR 060 N3			
M1.060.N	0,66	0,75	0,75	0,7180	0,0447	0,0506
M2.060.N	0,34	0,45	0,35	0,3773	0,0503	0,0569
Mc.060.N	0,32	0,31	0,4	0,3407	0,0395	0,0447
	BR 060 C1	BR 060 C2	BR 060 C3			
M1.060.C	0,60	0,89	0,71	0,7320	0,1204	0,1362
M2.060.C	0,47	0,74	0,58	0,5990	0,1111	0,1258
Mc.060.C	0,12	0,14	0,13	0,1330	0,0094	0,0107

M1 – Massa Total (Solo + Cascalho); M2 – Massa peneirada (Sem Cascalho); Mc – Massa de Cascalho; N – Área minerada e C – Cerrado.

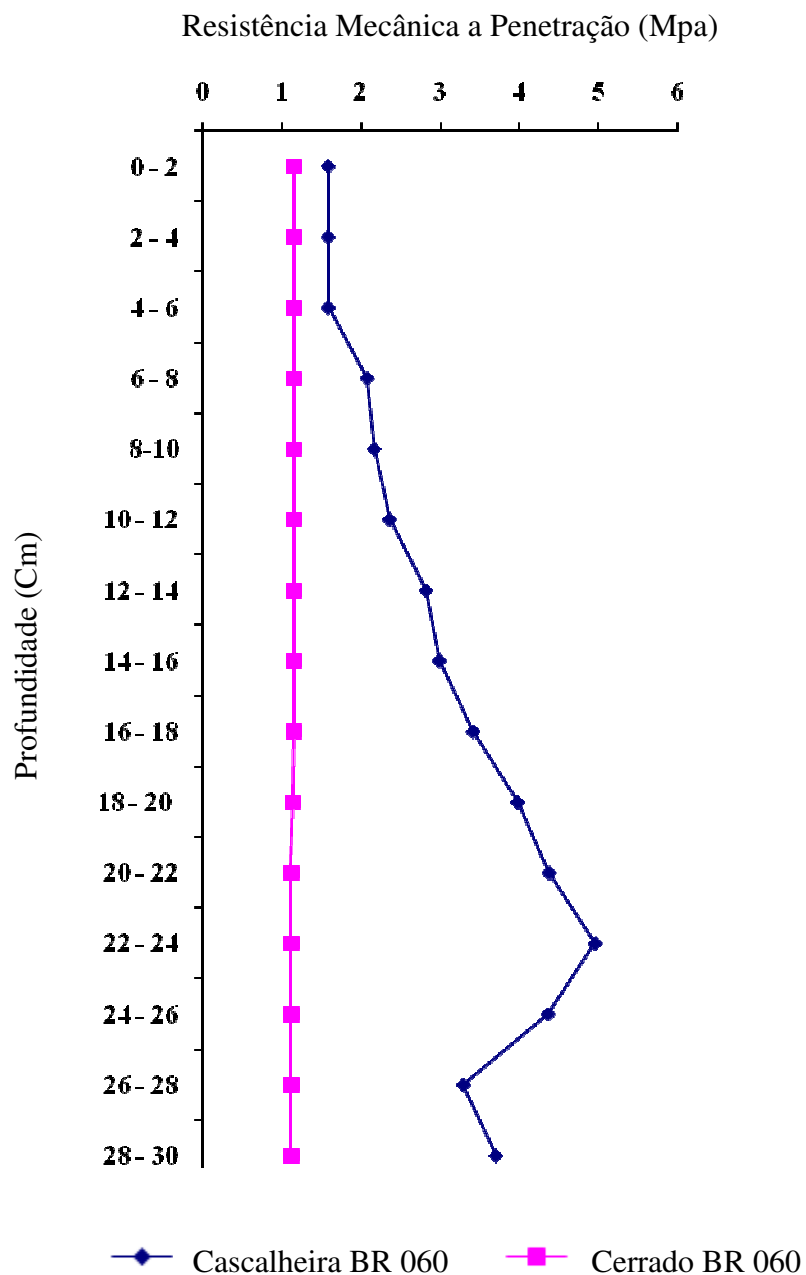


Figura 12 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado na jazida da BR 060.

A resistência mecânica à penetração encontrada na Cascalheira da QI 29 (figura 13) teve os seus valores elevados na faixa de 8 a 30 cm de profundidade. Visto que a área de Cerrado adjacente apresentou valores crescentes de 1,94 a 2,44 Mpa na faixa de 22 a 30 cm, respectivamente.

Contudo, OLIVEIRA et al., (2007) em seu trabalho na faixa de 20 a 30 cm de um Latossolo Vermelho, encontraram valores superiores a 2,5 Mpa o que mostra que o Cerrado adjacente a área minerada estão próximos apesar deles serem obtidos em períodos diferentes (QI 29/Novembro 2008).

OLIVEIRA et al., (2007) sugerem que a obtenção de dados referentes a Resistência Mecânica à Penetração, devem ser realizados em períodos úmidos visto que o déficit hídrico é um limitador para o desenvolvimento das plantas, independente das condições físicas restritiva nos locais estudados.

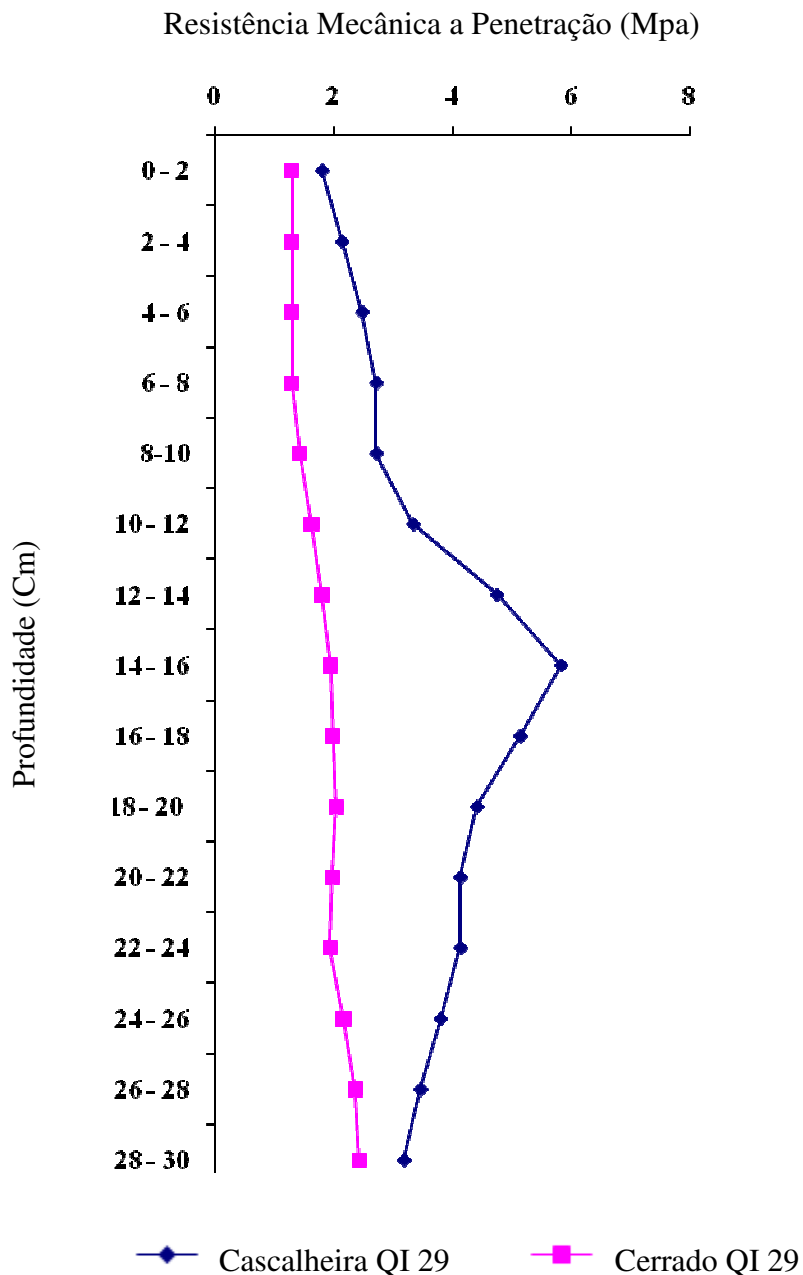


Figura 13 – Resistência mecânica a penetração do substrato da cascalheira e do solo sob

Cerrado na jazida da QI 29.

A figura 14 abaixo mostra o comportamento da Resistência Mecânica à Penetração em cada cascalheira e percebe-se uma característica evidente nestas áreas mineradas que são os seus elevados valores. Os valores de resistência a penetração nas cascalheiras QI 29 e BR 251, na profundidade de 4 a 30 cm, encontraram-se acima do valor de 2,5 Mpa. No caso da cascalheira localizada na BR 430 toda a profundidade encontra-se com valores superiores de resistência a penetração considerado como crítico para o crescimento radicular (ARSHAD et al., 1996). Neste caso, existe a necessidade de uma correção física adequada na em todo o perfil visto que esta camada será responsável em fornecer condições propícias ao crescimento radicular da vegetação que se instalará nestes ambientes degradados. Caso estas áreas mineradas fossem readequadas para o recebimento do plantio de culturas, Neves et al., (2007) *apud* Grant e Lanfond (1993) afirmam que o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 1,5 a 3,0 Mpa e, para Arshad et al., (1996), acima de 2,0 Mpa. A compactação do solo influencia alguns importantes fenômenos que ocorrem no solo, incluindo-se a quantidade de água disponível, calor e gases. Uma elevada modificação na compactação interfere diretamente na relação do solo com estes fenômenos, por isso, é importante o uso de técnicas de conservação do solo para acelerar os processos de recuperação e reconstrução dos solos em áreas mineradas. Na profundidade de 14-16 cm observa-se um ponto de interseção entre quatro cascalheiras e a resistência neste ponto variou de 5,8 a 6,28 Mpa, uma diminuição destes valores pode acontecer com o uso de subsoladores e escarificadores visto que a resistência à penetração nesta camada está muito acima do valor considerado viável ($< 2,5$ Mpa) para o crescimento radicular das plantas.

Resultados semelhantes em áreas com sistema agrosilvipastoril (NEVES et al., 2007) apresentaram camadas com resistência mecânica à compactação superiores a 2,5 Mpa e com pontos máximos de 6,8 Mpa, valores estes presentes nas cascalheiras analisadas.

Resistência Mecânica a Penetração (Mpa) - Cascalheiras

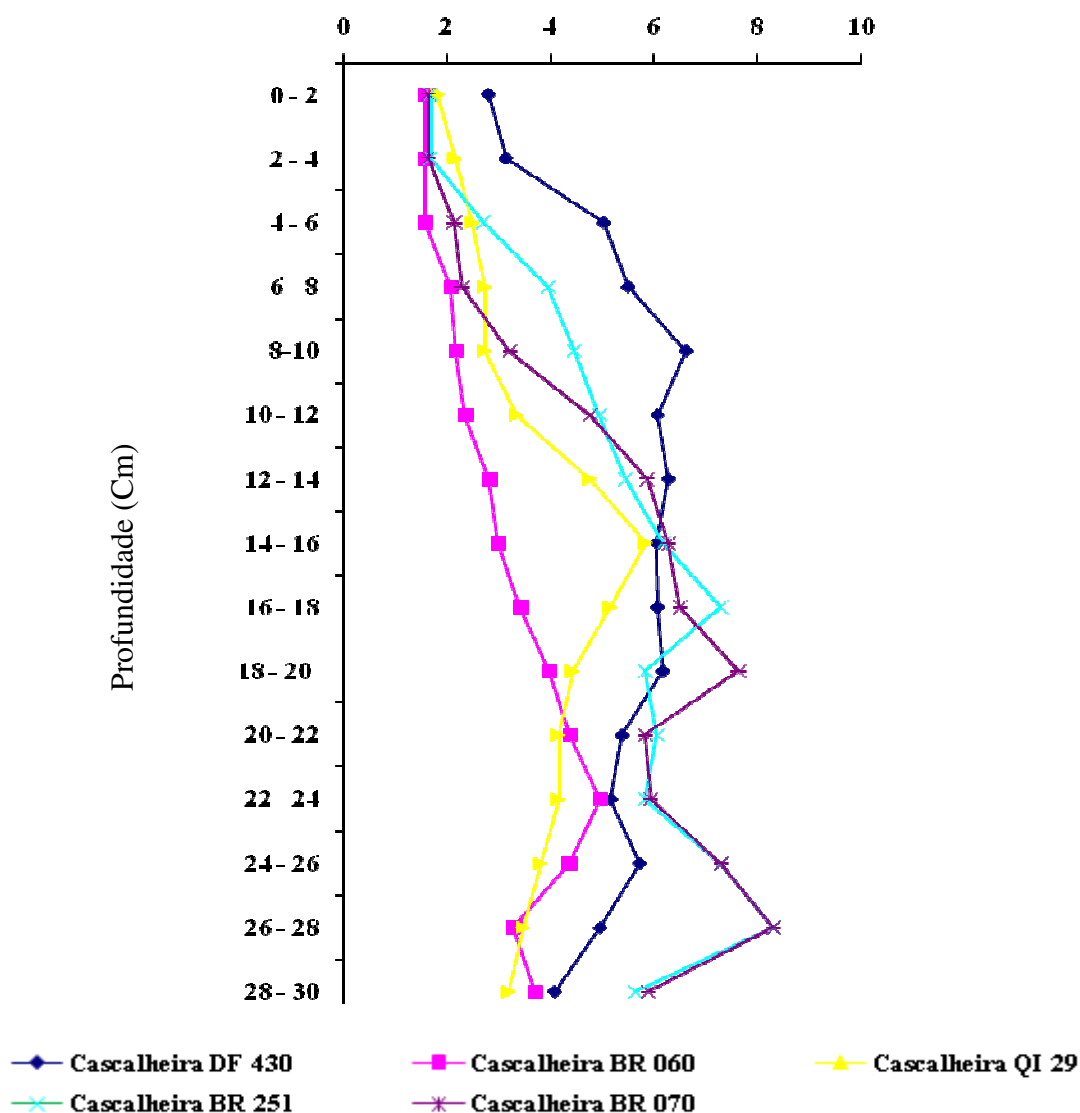


Figura 14 – Resistência mecânica à penetração dos substratos das cinco Cascalheiras visitadas.

A resistência mecânica à penetração integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes (TORMENA et al., 2002). O efeito do aumento da umidade no solo proporciona pode ser considerado não impeditivo, contudo, o secamento do solo os valores de resistência podem atingir a níveis altamente impeditivos ao crescimento radicular (TORMENA et al., 2002).

A resistência mecânica a penetração apresentada na Figura 15 para os Cerrados adjacentes, nos revela que na profundidade de 4 a 22 cm no Cerrado da BR 070 encontra-

se com valores acima de 2,5 Mpa, considerado um valor limitante para o crescimento radicular das plantas. Na BR 070 percebe-se uma diminuição da resistência mecânica a penetração na camada de 20 a 30 cm, oferecendo condições para o crescimento radicular neste limites encontrados de 2,55 a 1,79 Mpa, respectivamente. No caso do Cerrado localizado na QI 29 os seus valores na profundidade de 22 a 30 cm apresentaram uma elevação de 1,94 a 2,44 Mpa, estando próximos do limite de 2,5 Mpa o que de certa forma não impossibilita o crescimento radicular pois seriam necessários outros levantamentos da resistência mecânica à penetração neste local em épocas diferentes pois a umidade e densidade influenciam diretamente no comportamento deste atributo físico.

As áreas que apresentaram condições ótimas para um desenvolvimento radicular são os Cerrados localizados na QI 29, BR 060 e BR 251, visto que os valores de densidade e porosidade estão dentro dos níveis viáveis para o desenvolvimento radicular (TORMENA et al., 2002; NEVES et al., 2007). Entretanto, esta característica pode estar ligada ao teor de umidade, a boa estrutura do solo condicionada pelo teor de matéria orgânica entre os Cerrados.

Resistência Mecânica a Penetração (Mpa) - Cerrado

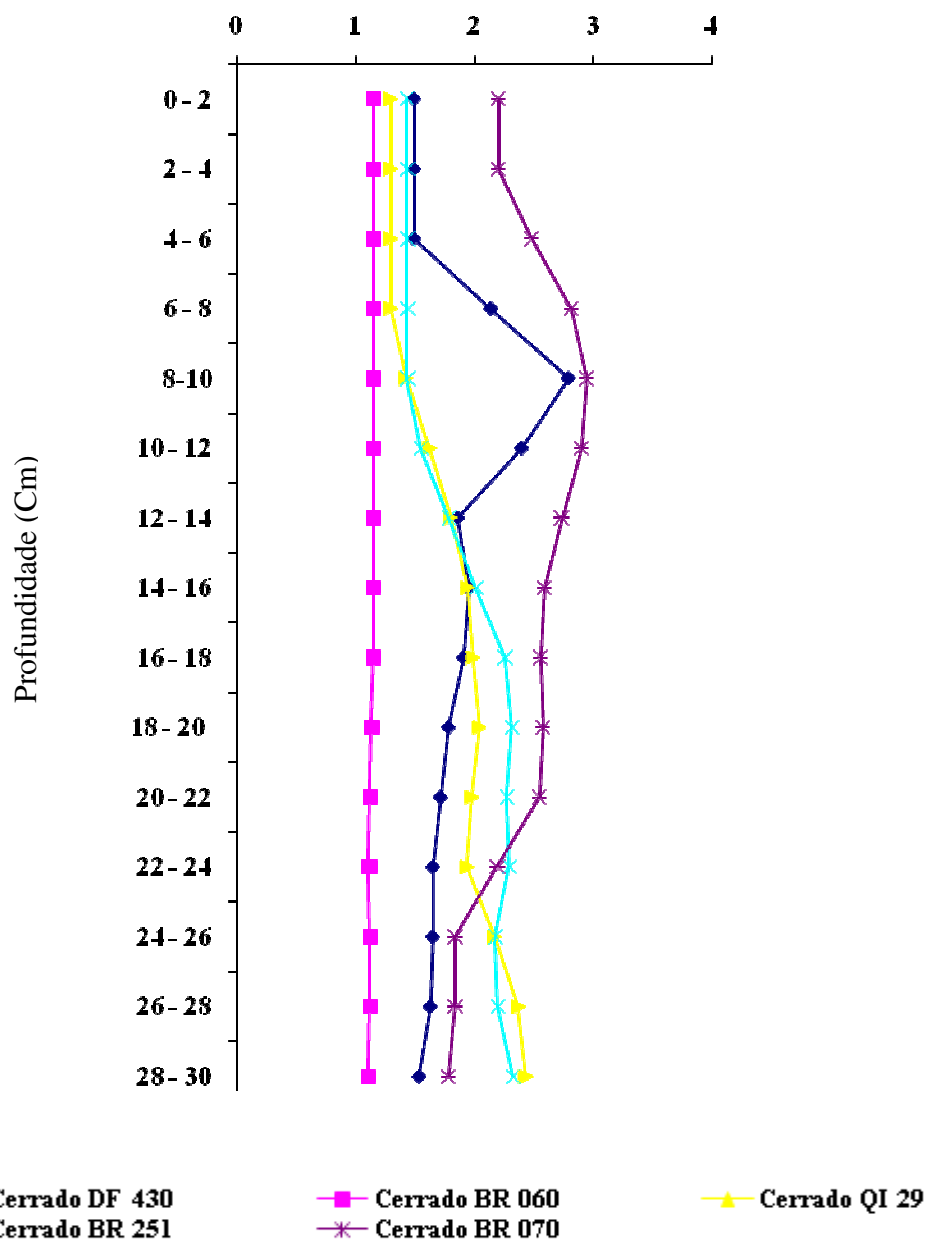


Figura 15 – Resistência mecânica à penetração dos solos das cinco áreas de Cerrado usadas como controle.

Tabela 9 – Valores médios de Densidade (g cm^{-3}), Porosidade total (%) e Água Disponível (Mpa) dos substratos das cascalheiras e solos sob Cerrados, com os respectivos desvios-padrão ($n = 3$).

Áreas	ρ_b (g/cm^3)	Pt %	AD ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)
Cascalheira			
QI29.N	$1,32 \pm 0,05$	$50,06 \pm 1,75$	$9,17 \pm 0,40$
DF430.N	$1,37 \pm 0,03$	$48,43 \pm 1,28$	$6,27 \pm 0,50$
BR060.N	$0,93 \pm 0,07$	$64,78 \pm 2,78$	$6,70 \pm 0,22$
BR070.N	$1,15 \pm 0,11$	$56,73 \pm 4,18$	$5,77 \pm 0,81$
BR251.N	$0,74 \pm 0,18$	$71,95 \pm 6,62$	$12,50 \pm 3,42$
Cerrado			
QI29.C	$1,04 \pm 0,09$	$60,75 \pm 3,25$	$8,27 \pm 3,42$
DF430.C	$1,00 \pm 0,08$	$62,26 \pm 3,03$	$7,70 \pm 0,43$
BR060.C	$1,28 \pm 0,14$	$51,82 \pm 5,19$	$6,83 \pm 0,17$
BR070.C	$1,00 \pm 0,13$	$62,14 \pm 4,94$	$7,70 \pm 1,22$
BR251.C	$1,06 \pm 0,01$	$59,87 \pm 0,47$	$7,20 \pm 0,75$

N – corresponde a Cascalheira e C – corresponde ao Cerrado adjacente.

Tabela 10 – Valores médios de resistência mecânica à penetração (R_p) dos substratos revegetados, expressos em MPa, ao longo de 30 cm de profundidade ($n = 5$).

Áreas	QI 29	DF 430	BR 060	BR 070	BR 251
Prof (cm)	R_p (Mpa)	R_p (Mpa)	R_p (Mpa)	R_p (Mpa)	R_p (Mpa)
0 - 2	1,81	2,8	1,58	1,64	1,69
2 - 4	2,15	3,14	1,58	1,64	1,69
4 - 6	2,49	5,03	1,58	2,15	2,7
6 - 8	2,73	5,5	2,08	2,29	3,95
8-10	2,73	6,62	2,17	3,21	4,46
10 - 12	3,35	6,07	2,35	4,77	4,95
12 - 14	4,76	6,29	2,82	5,87	5,45
14 - 16	5,84	6,06	2,99	6,29	6,17
16 - 18	5,16	6,07	3,42	6,51	7,3
18 - 20	4,42	6,17	3,98	7,64	5,84
20 - 22	4,15	5,39	4,37	5,84	6,06
22 - 24	4,15	5,17	4,96	5,95	5,84
24 - 26	3,81	5,72	4,36	7,3	7,3
26 - 28	3,47	4,96	3,29	8,31	8,31
28 - 30	3,19	4,08	3,7	5,9	5,65

Tabela 11 – Valores médios de resistência mecânica à penetração (Rp) dos solos sob Cerrado, expressos em MPa, ao longo de 30 cm de profundidade.

Áreas	QI 29.C	DF 430.C	BR 060.C	BR 070.C	BR 251.C
Prof (cm)	Rp (Mpa)	Rp (Mpa)	Rp (Mpa)	Rp (Mpa)	Rp (Mpa)
0 - 2	1,3	1,49	1,15	2,21	1,44
2 - 4	1,3	1,49	1,15	2,21	1,44
4 - 6	1,3	1,49	1,15	2,49	1,44
6 - 8	1,3	2,14	1,15	2,82	1,44
8-10	1,43	2,8	1,15	2,95	1,44
10 - 12	1,63	2,4	1,15	2,91	1,55
12 - 14	1,8	1,86	1,15	2,74	1,79
14 - 16	1,95	1,95	1,15	2,6	2,02
16 - 18	1,99	1,91	1,15	2,56	2,26
18 - 20	2,05	1,79	1,13	2,59	2,32
20 - 22	1,98	1,72	1,12	2,55	2,28
22 - 24	1,94	1,65	1,12	2,2	2,3
24 - 26	2,17	1,65	1,12	1,85	2,18
26 - 28	2,38	1,63	1,12	1,85	2,2
28 - 30	2,44	1,54	1,11	1,79	2,33

6.3 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

6.3.1 MACROFAUNA DO SOLO

A macrofauna do solo é caracterizada pelo tamanho variável que está entre 4 a 80 mm, as características predominantes deste grupo estão envolvidas na capacidade de construção de ninhos, cavidades e galerias e ainda do transporte de material rico em nutrientes para o interior do solo. Além disso, parte deste material poderá ser aproveitado durante o processo de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas.

A Tabela 12 abaixo mostra a fauna de solo encontrada nas áreas amostradas. Nota-se um grande número de cupins (Isoptera) no processo de colonização de ambientes de Cerrado degradados pela mineração, com valores de 63,87% (DF 430) de indivíduos em relação ao seu total, lembrando que em cada área foram coletados 10 blocos de solo. Enquanto que no cerrado adjacente da DF 430 encontrou-se 47,25% de isópteros. No Cerrado da BR 251 o predomínio foi maior na ordem das formigas (himenópteros) com 39,12% em relação ao total de indivíduos nesta área. Contudo, os isópteros para a mesma área representaram 24,8% do indivíduos (BR 251). Para as demais áreas os cupins representaram nas áreas de Cerrado, respectivamente 22,11% (BR 070), 36,22% (BR 060) e 36,33% (QI 29).

A ordem Hymenoptera superou a Isoptera em número de indivíduos apenas em duas áreas com 39,12% no Cerrado localizado na BR 251 e 41,24% na BR 070.

A cascalheira da QI 29 teve uma quantidade superior de isópteros (44,26%). Este quantitativo de cupins em áreas mineradas deve-se ao fato de eles serem ótimos colonizadores de ambientes degradados. Por isso, a área de Cerrado adjacente teve o seu valor global de indivíduos inferior, devido estas áreas apresentarem um certo grau de competição entre os organismos existentes no local, sendo menor em ambientes degradados devido as condições físicas e químicas nestes ambientes degradados. Entretanto, no Cerrado da QI 29 foram encontradas 11 ordens de um total de 12, enquanto, que na área minerada, quatro ordens não foram encontradas, considerando o total catalogado no Cerrado adjacente.

Tabela 12 – Valores médios da Macrofauna encontrada em blocos de solo (20 x 20 x 15 cm).

Área Cerrado	DF 430	BR 251	BR 070	BR 060	QI 29
Ordens*					
ISOPTERA	31	13	9,6	9,2	12,1
COLEOPTERA	0,4	0,7	0,6	0,6	0,2
ORTHOPTERA	0	0,3	0,3	0,4	0,2
HIMENOPTERA	23,2	20,5	17,9	8,4	8,1
ANELÍDEOS	0,1	0	0	0,2	0,1
ARACNÍDEOS	0,2	0	0,2	0,3	0,1
MIRIÁPODES	0,1	0,1	0	0	0
N.I.1	3,4	2,7	4,1	0,9	4,4
N.I.2	2,5	4,7	3,1	0,7	1,9
N.I.3	0	6,2	4,5	2,6	4,3
N.I.4	0	2,7	3,1	0,9	0,9
N.I.5	4,7	1,5	0	1,2	1
Total	65,6	52,4	43,4	25,4	33,3
Áreas Mineradas					
ISOPTERA	26,7	3,8	3,7	11,6	19,3
COLEOPTERA	0,9	0,7	0,7	0,5	1,5
ORTHOPTERA	0	0	0	0,2	0,2
HIMENOPTERA	4,8	8,1	10	9,9	5,7
ANELÍDEOS	0,2	0,4	0,4	0,1	0,6
ARACNÍDEOS	0,1	0,5	0,5	0,4	0
MIRIÁPODES	0	0,3	0	0	0
N.I.1	2,6	2,6	5,1	0,4	7,3
N.I.2	4,2	3,4	6,2	0,1	7,9
N.I.3	1,5	0	3	0,4	0
N.I.4	0	0	1	1,3	1,1
N.I.5	0,8	4,7	0	0,7	0
Total	41,8	24,5	30,6	25,6	43,6

* Valores médios; N.I – Não Identificados.

A Tabela 13, permite afirmar que a redução da diversidade de ecossistemas refere-se a modificação da estrutura da população de alguns grupos de fauna edáfica em ambientes degradados e nativos, logo, ele pode ser um indicativo de degradação do solo e de perdas de sua sustentabilidade em ambientes degradados pela mineração.

De acordo com a escala estabelecida por Gray (1999), significa dizer que os índices de diversidade das cascalheiras apresentaram valores 0,48 a 0,63 o que significa dizer que houve uma variação de razoável (QI 29 – 0,48) a uma boa diversidade (BR 060 – 0,63) nestes ecossistemas. Nos cerrados apenas o cerrado localizado na DF 430 foi classificado com uma diversidade razoável o que significa dizer que os cerrados apresentaram uma

diversidade superior as cascalheiras adjacentes, com exceção das cascalheiras localizadas na DF 430 (0,59) e na BR 070 (0,61).

Nunes et al., (2009) afirmam que a eliminação da cobertura vegetal limita o estabelecimento da maioria das espécies da fauna edáfica e a ocupação fica restrita a poucos grupos taxonômicos. Além disso, o uso ou a ocorrência de fogo reduz a diversidade dos ecossistemas e modifica parte da estrutura da população da fauna edáfica e pode ser um indicativo de degradação do solo e de perda de sua sustentabilidade em ambientes degradados. Esta afirmação pode ser comprovada pois tanto o Cerrado adjacente quanto a Cascalheira na QI 29 sofreram queimadas no período da seca (junho – agosto 2007/2008) logo, o fogo apesar de ser um dos responsáveis pela caracterização dos Cerrados, ele afeta a colonização da fauna edáfica em ambientes favoráveis, mesmo que exista matéria orgânica suficiente para o estabelecimento da fauna edáfica.

O SCI proposto por Gray (1999) é uma ferramenta que auxilia na diferenciação de organismos através de análises de tamanho, forma e cor. Este método foi para estimar as diferenças relativas encontradas em um ou mais ecossistemas. Através disto pode-se perceber que a diversidade encontrada nas áreas estudadas variaram na escala de razoável (0,3) a uma boa diversidade (> 0,6).

6.3.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

No caso da matéria orgânica do solo (MOS), os valores médios encontrados na camada de 0 – 20 cm variaram de 2,23 a 7,96 dag.kg⁻¹ (Tabela 13). Uma vez que estes valores para três áreas foram superiores aos encontrados nos solos sob Cerrado, pode-se inferir que as cascalheiras localizadas nas BR 251, BR 070 e BR 060 estão com as suas elevadas taxas de M.O, fósforo disponível e CTC (Tabela 6), devido à incorporação de lodo de esgoto aos seus substratos.

Pode-se considerar que houve uma superestimação dos valores encontrados pelo Laboratório (CAMPO ANÁLISES/PARACATU – MG), pois de acordo com o trabalho Silva et al. (1999) a análise de solo para a obtenção do teor de MOS deve-se a importância do tipo e quantidade mineralógica, visto que em análise, parte da caulinita presente na fração argila do solo podem ser calcinados, além de perdas de água estrutural.

Além disso, o alto teor de matéria orgânica pode ser explicado também devido a ocorrência de gramíneas e pela decomposição deste material vegetal e possíveis restos de

raízes que também contribuem no processo de mineralização dos nutrientes presentes na matéria orgânica destes solos, contudo, este alto teor pode contribuir em uma densidade menor, em uma porosidade maior, em valores elevados de água disponível e na taxa de macrofauna presente nestes ambientes devido a presença de abrigo e alimento (M.O e água).

O menor teor de matéria orgânica no substrato da jazida da DF 430 pode ser devido a menor quantidade de lodo aplicado nesta área e devido ao tempo de exposição deste material (11 anos) presente no solo, visto que a matéria orgânica do solo tende a ser mineralizada rapidamente quando este encontra-se incorporado ao solo sem a presença de uma cobertura vegetal.

Os resultados evidenciaram que apesar da variação do teor de MOS nas áreas degradadas, em relação ao Cerrado adjacente, o seu alto teor está baseado no tipo de material orgânico lançado nas áreas e devido as atividades de recuperação que foram realizadas nos locais, como por exemplo, a escarificação, gradagem, construção de terraços (quando necessário) e o plantio de gramíneas e espécies arbóreas.

Tabela 13 – Valores médios de Fauna (SCI – Sequential Comparison Index) e Matéria Orgânica (M.O), expressa em dag/kg.

Áreas	FAUNA	MOS dag/kg
Cascalheira		
QI29.N	0,48 ± 0,18	2,97 ± 0,29
DF430.N	0,59 ± 0,24	3,00 ± 0,24
BR060.N	0,63 ± 0,21	7,97 ± 0,63
BR070.N	0,61 ± 0,21	6,93 ± 1,41
BR251.N	0,54 ± 0,14	5,70 ± 1,79
Cerrado		
QI29.C	0,65 ± 0,22	2,23 ± 0,09
DF430.C	0,54 ± 0,15	5,30 ± 0,00
BR060.C	0,68 ± 0,12	5,83 ± 0,45
BR070.C	0,60 ± 0,11	4,67 ± 0,26
BR251.C	0,61 ± 0,15	4,47 ± 0,09

N - corresponde as áreas mineradas; C – corresponde ao Cerrado adjacente. Escala: 0,0 – 0,3 = diversidade pobre; 0,3 – 0,6 = diversidade razoável e 0,6 – 1,0 = diversidade boa.

As análises do teor de matéria orgânica estão superestimadas, quando comparadas por laboratórios diferentes (ARAÚJO et al., 2007; ARAÚJO, 2006; CORREIA;

ANDRADE, 1999; SILVA, et al., 1999; TISDAL & OADES, 1983). Pode-se observar que o teor de matéria orgânica apresenta uma diminuição se comparado com o período de uso nas cascalheiras da QI 29, DF 430 em relação as demais. CORRÊA (2006) afirma que os horizontes superficiais de solos minerais de Cerrado possuem cerca de 2% de matéria orgânica. Considerando uma densidade global do solo de 1Mg.m^{-3} (1T.m^{-3}), tem-se 2.000 toneladas de solo na camada de 20 cm de cada hectare. São portanto, 40 toneladas de matéria orgânica armazenadas nesses 20 cm de solo por hectare. Logo, estes dados confirmam os resultados superestimados analisados e fornecidos pelo laboratório – CAMPO/PARACATU MG.

A matéria orgânica influencia direta ou indiretamente vários fatores físicos, químicos e biológicos do solo (BRADY, 1989; CORRÊA, 1998) e a perda da camada superficial de 20 cm do solo do cerrado inviabiliza o restabelecimento das condições produtivas por adubação química. Logo, ela não consegue manter o fornecimento adequado de nutrientes a vegetação e por isso, a necessidade da adição de resíduos orgânicos como fonte para a incorporação de matéria orgânica em ambientes degradados pela mineração.

7. ÍNDICE DE QUALIDADE DO SUBSTRATO (IQSS) E O MODELO DE QUALIDADE DO SOLO

Os Modelos de Qualidade do Solo foram propostos de acordo com as condições adotadas por Islam e Weil (2000), com adaptações devido as variações locais:

A Cascalheira localizada na DF 430 teve a sua avaliação de qualidade baseada no solo de Cerrado adjacente, sendo assim, pode-se observar que os atributos físicos e biológicos estão com aproximadamente 80 e 20%, respectivamente, do valor ideal de qualidade (Figura 16). Porém, os atributos químicos foram altamente influenciados pela concentração de fósforo presente no Lodo de Esgoto utilizado e pela saturação de bases. Neste caso, este aumento está na faixa de 90% em relação ao Cerrado nativo adjacente.

O Índice de Qualidade do Substrato (IQSS) para a DF 430 foi de 0,91 indicando um (aumento/redução) de qualidade do solo de 90% isto devido a forte influência dos atributos químicos, o que nem sempre significa que um aumento nos atributos podem favorecer e/ou auxiliar em melhores condições a respeito da qualidade de solos. Raij (1991) afirma que

uma concentração elevada de determinado nutriente pode responder de forma tóxica às plantas e organismos presentes em um determinado ambiente.

Todavia, esta resposta será perceptível em todas as cinco áreas mineradas estudadas, pois, elas foram revegetadas com o uso de Lodo de Esgoto um ótimo material para a recuperação de ambientes degradados, desde que seja bem planejado o seu uso devido ainda existir um grande preconceito em relação ao seu uso.

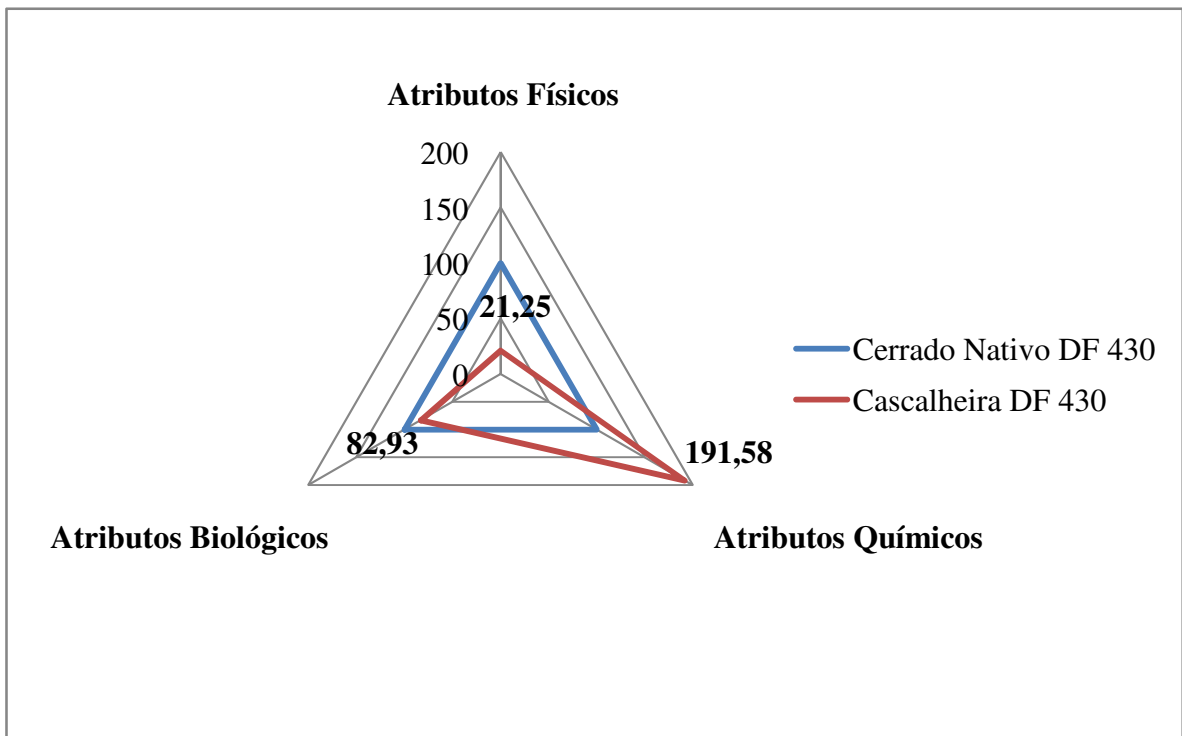


Figura 16 – Diagrama comparativo da qualidade do solo da Cascalheira localizada na DF 430, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo Adjacente.

A Cascalheira localizada na BR 251 teve os atributos Físicos e Químicos acima dos valores de referência, sendo respectivamente 24% e 100% maiores que o Cerrado Nativo próximo da área minerada. Os atributos físicos apresentaram esta elevação devido a cascalheira estar sendo monitorada de forma sistemática, sendo respeitada a profundidade de exploração do material, o que influenciou e contribuiu para a obtenção de um IQSS tão elevado quando comparado com o Cerrado adjacente a esta área (Tabela 14). Além disso, esta área passou por atividades de escarificação com maquinário pesado e a incorporação da matéria orgânica (Lodo de Esgoto) através de gradagem.

Para uma melhor visualização do diagrama foi necessário considerar os atributos químicos através da multiplicação do resultado por uma potência, pois, caso fosse considerado o valor sem esta consideração o diagrama da área nativa não poderia ser visualizado facilmente.

Comparando-se o $IQSS_{DF430}$ com o $IQSS_{BR251}$ pode-se considerar um melhor índice na BR 251, devido também ao monitoramento do local juntamente com o uso das medidas de conservação adotadas, como a construção de terraços formando bolsões para evitar o surgimento de erosões e o carreamento de materiais particulados e nutrientes. Além disso, deve-se considerar a heterogeneidade em relação aos dados obtidos por cada área e ressaltar que a revegetação da cascalheira localizada na DF 430 ocorreu em 1998 enquanto que na BR 251 em 2008.

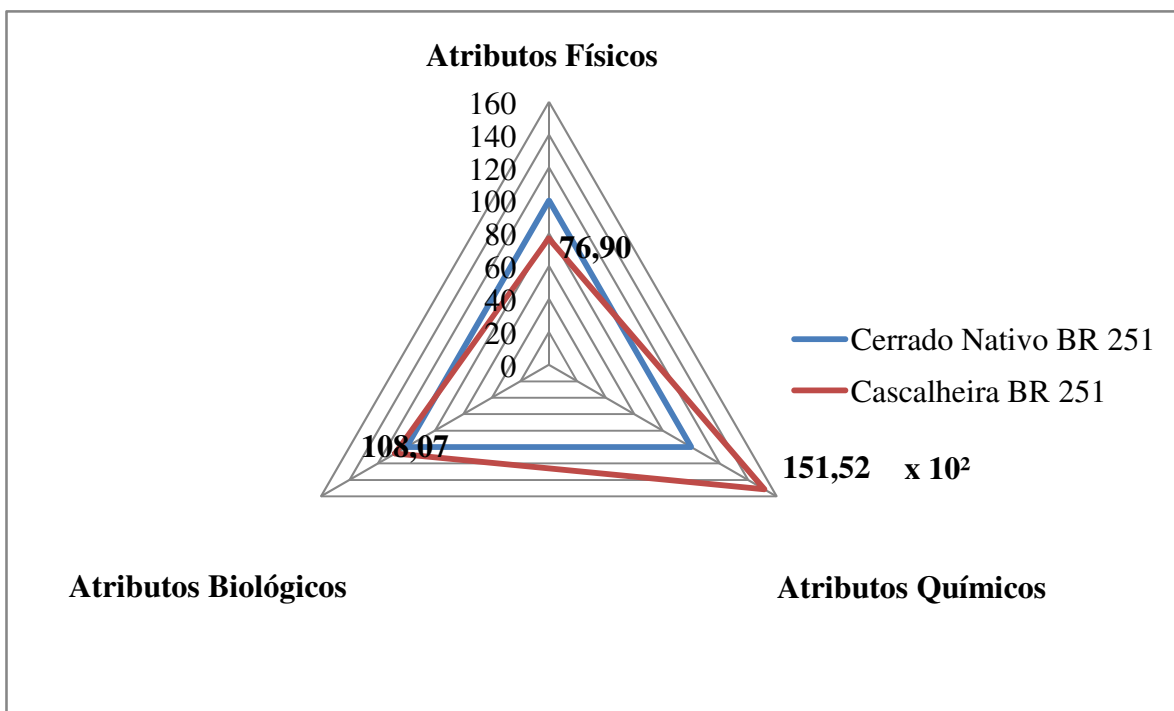


Figura 17 – Diagrama da qualidade do solo da Cascalheira localizada na BR 251

distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo Adjacente.

Na Cascalheira Santa Maria localizada na BR 070, percebe-se uma redução nos atributos físicos na ordem de aproximadamente 50% (Figura 18), isto porque esta cascalheira apesar de apresentar áreas revegetadas, ela continua em atividade de exploração elevando desta forma o grau de compactação do solo tanto pela atividade de exploração como também pela movimentação de maquinários pesados na área. Araújo e Saraiva (2004) ressaltam que operações com maquinário pesado e com o solo úmido aumentam o grau de compactação dos solos dificultando o enraizamento das plantas e a infiltração de água no solo, fato percebido também pelo aumento da densidade e da diminuição dos macroporos do solo. No caso dos atributos biológicos, observa-se um aumento de 25% em relação a área de Cerrado adjacente analisada. Entretanto, no caso dos atributos químicos, percebe-se uma elevação crítica o que mais uma vez prejudicaria a visualização do diagrama caso não fosse atribuído uma potência no valor encontrado.

O IQSS_{BR070} para esta área foi de 563,63 (Tabela 14) devido a forte influência principalmente dos atributos químicos, inclusive devido a concentração de fósforo presente no Lodo de Esgoto incorporado no substrato no ano de 2005. Por fim, fica evidenciado que caso fosse desconsiderada a presença do fósforo, o índice de qualidade estaria com uma redução devido o uso intensivo a que o solo é submetido.

A última visita realizada nesta cascalheira foi no mês de Agosto onde foi percebido até a última visita que a mesma encontra-se sem as medidas necessárias de conservação. Portanto, será necessária a construção de terraços acompanhando as curvas de nível já que o local encontra-se em topos de morros, chegando a declividade de aproximadamente 40°. Além disso, sabe-se ainda que a ausência destes terraços acelera o surgimento dos processos erosivos, aumentando o carreamento de material particulado e nutrientes. Sem contar que o valor para a recuperação destes ambientes degradados será muito mais elevado, devido a ausência destas medidas de conservação.

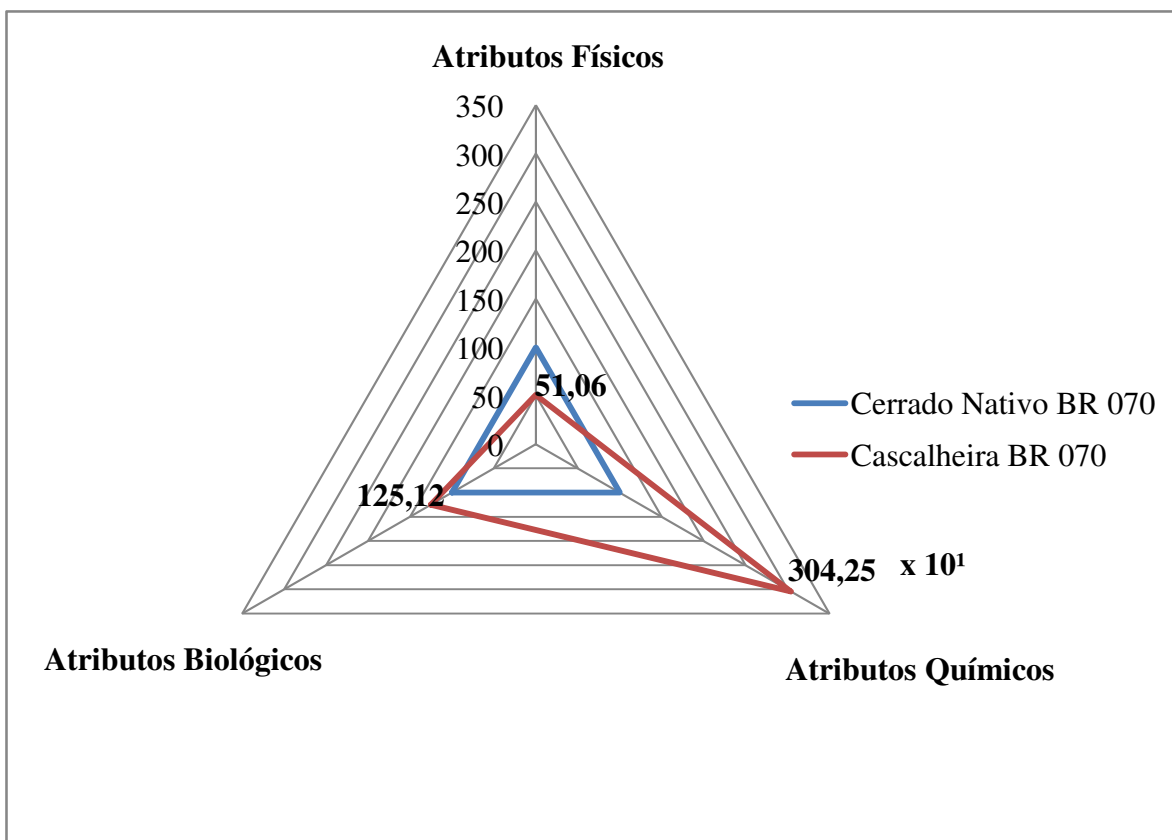


Figura 18 – Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na BR 070, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente.

A Cascalheira localizada na BR 060 teve uma redução dos atributos físicos e biológicos variando em torno de 47%, enquanto que os atributos biológicos foram superiores em 14% em relação ao controle e no caso dos atributos químicos eles foram muito superiores em relação ao Cerrado adjacente, visto que esta cascalheira foi revegetada no ano de 2002 com aproximadamente 400 toneladas de lodo de esgoto o que pode ter influenciado nos altos teores de fósforo em sua constituição.

Os processos de conservação do solo, proporcionam o aceleração das condições de reconstrução dos solos com o uso de subsoladores, escarificadores e a incorporação da matéria orgânica (Lodo de Esgoto) com o uso de grades de disco.

Quanto aos atributos químicos, foi encontrado um expressivo aumento da qualidade em relação ao Cerrado Nativo adjacente. Entretanto, este aumento deve-se a quantidade excessiva de fósforo presente no lodo de esgoto. Logo, este teor excessivo de fósforo (P) tem influência com o teor de argila, caso a cascalheira apresentasse uma classe textural argilosas, a tendência seria adsorção do P disponível prejudicando desta forma o

desenvolvimento vegetal no local, neste caso as altas doses de fósforo presente no lodo de esgoto tendem a elevar o seu nível em solução e caso a medida de recuperação tenha iniciado com o aumento do pH através do uso de calcário, esta atividade contribui positivamente evitando-se uma perda excessiva de fósforo no solo através da imobilização química deste elemento. Além disso, a calagem tende a promover uma maior eficiência do fósforo no solo.

Para uma melhor visualização do diagrama abaixo necessitou multiplicar o resultado dos atributos químicos por uma potência de dez (10^1) devido os atributos químicos estarem com valores considerados positivos no que diz respeito a recuperação de ambientes degradados. Contudo, o teor de fósforo foi elevado a ponto de influenciar no comportamento do IQSS desta área (IQSS_{BR 060} – 459,35).

Pode-se perceber nesta cascalheira a construção de terraços em curvas de nível e uma intensa área onde foi incorporado o lodo de esgoto, hoje, ocupado por gramíneas e espécies arbustivas que servem como alimento para o gado, a fauna local e ainda contribuem para o aparecimento de macrofauna no solo, retornando ainda gradativamente os ciclos biogeoquímicos necessários e envolvidos no processo de reconstrução dos solos.

Sabe-se que a cobertura vegetal é responsável pela dissipação da energia cinética produzida pela queda das gotas da chuva minimizando desta forma o surgimento de erosões e assim, mantendo um certo gradiente de umidade tanto no solo quanto na camada superficial. Além disso, a cobertura vegetal pode auxiliar na diminuição da velocidade de escoamento das águas, pois, este fator implica tanto no transporte de particulados do solo quanto de minerais necessários na nutrição das plantas.

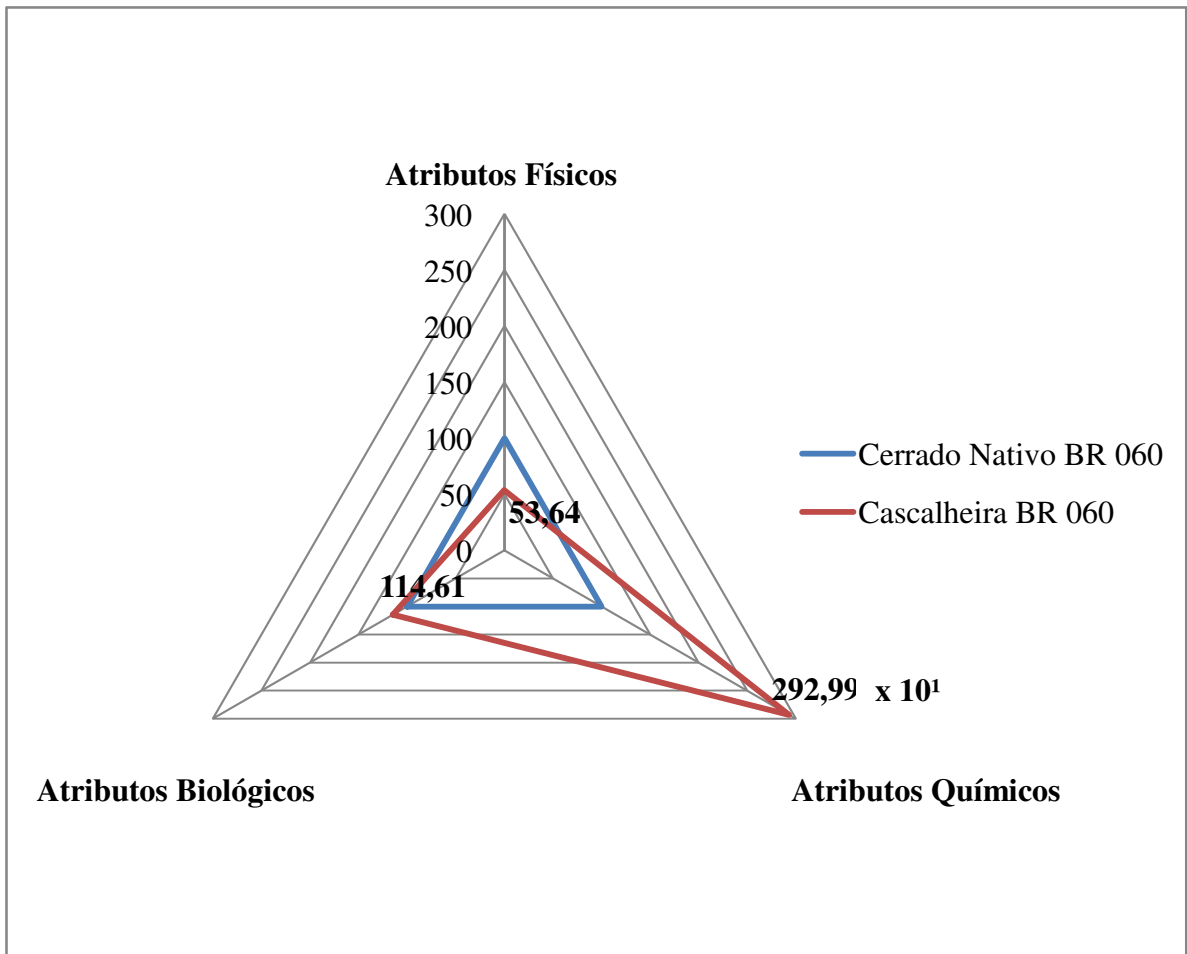


Figura 19 - Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na BR 060, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente.

A Cascalheira localizada na QI 29 (Figura 20) foi revegetada em 1997 e apresentou uma redução nos atributos físicos de 40% em relação ao Cerrado adjacente e foi a área juntamente com a DF 430 (revegetada em 1998) que apresentaram os melhores IQSS pois os seus resultados aproximaram do sustentável baseado nos respectivos cerrados. Para os atributos biológicos verifica-se um aumento na ordem de 3%. Entretanto, para os atributos químicos gerou-se um aumento maior em relação à área de Cerrado nativo adjacente, em torno de 347% superior em relação ao controle.

Percebe-se um aumento significativo em todos os fatores de qualidade do solo, com $IQSS_{QI\ 29} = 9,70$ (Tabela 14). Entretanto, este comportamento é percebido devido ao elevado teor de fósforo presente na matéria orgânica utilizada no processo de recuperação da cascalheira e devido os outros atributos químicos estarem com valores superiores aos

obtidos pelo Cerrado adjacente. Porém, todos atributos físicos, químicos e biológicos estão respondem ao período de ocorrência da revegetação, neste caso, 12 anos.

Os dados obtidos para esta área revelam que caso ocorresse uma segunda intervenção, provavelmente os atributos físicos, químicos e biológicos estariam mais próximos do ideal em menor tempo e ofereceriam um suporte melhor para a recuperação ambiental do local que anteriormente fora degradado pela mineração de cascalho.

Entretanto, a área foi demarcada e cercada e encontra-se em processo de readequação para a construção de um possível condomínio habitacional. A obtenção destes resultados foram com extrema dificuldade pois, a liberação ocorreu mediante a formalização de um pedido entre os pesquisadores e o “proprietário” do condomínio.

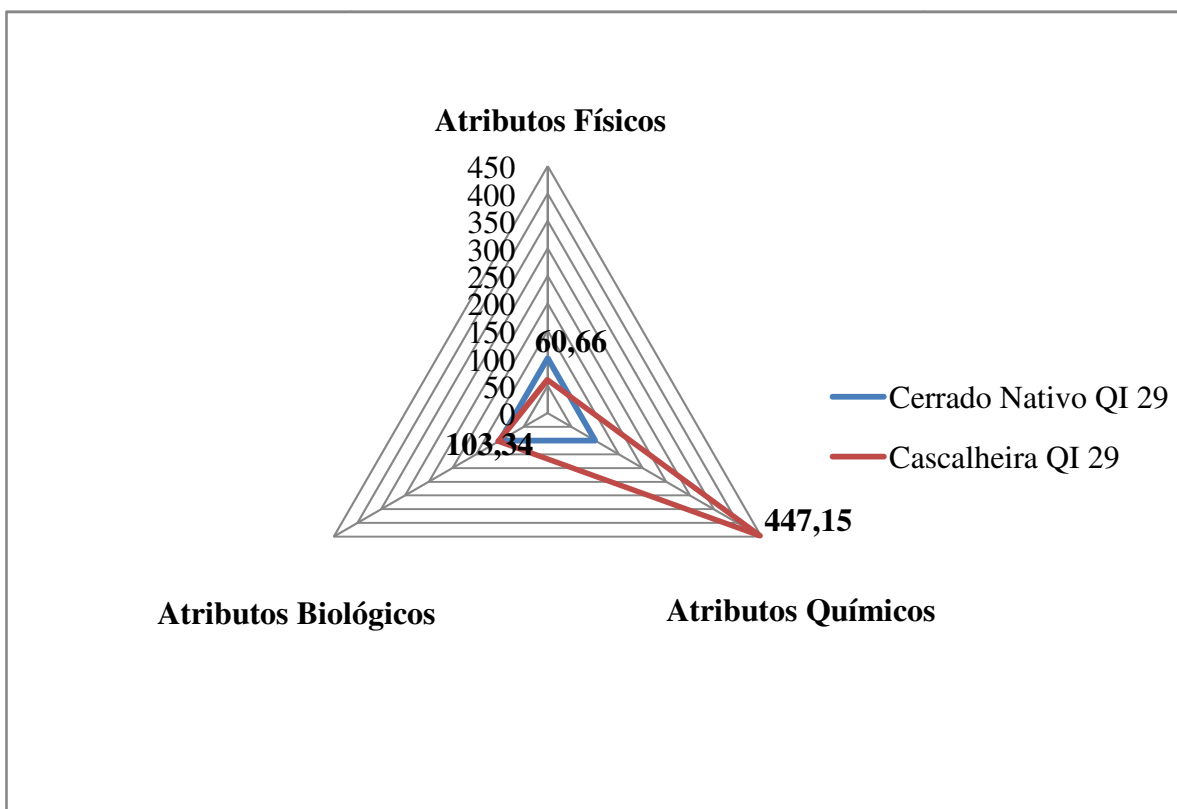


Figura 20 - Diagrama comparativo da Qualidade do Solo da Cascalheira localizada na QI 29 Lago Sul, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao Cerrado Nativo adjacente.

Tabela 14 – Índice de Qualidade do Substrato (IQSS)

ÁREAS	Área geométrica	IQSS	IQSS%
QI 29	$7,76 \times 10^{08}$	9,70	970,08
DF 430	$6,80 \times 10^{07}$	0,91	90,70
BR 060	$3,44 \times 10^{10}$	459,35	45934,60
BR 070	$4,23 \times 10^{10}$	563,63	56362,56
BR 251	$1,01 \times 10^{12}$	13.463,94	1346394
Cerrado adjacente	$7,50 \times 10^{07}$	1,00	100,00

8. CONCLUSÕES

1. O lodo de esgoto demonstrou ser uma fonte de matéria orgânica muito importante para o aceleração dos processos de reconstrução dos solos de cascalheiras, logo, deve-se utilizar uma quantidade menor deste material para que o manejo de recuperação ambiental e reconstrução destes solos degradados possam atingir uma similaridade com os solos de Cerrado adjacentes a estas áreas.

2. Os atributos físicos, químicos e biológicos estudados possuem bons indicadores para gerar uma avaliação da qualidade dos substratos minerados.

3. O índice de qualidade do solo se mostrou uma ferramenta importante para auxiliar na avaliação das atividades de recuperação de ambientes degradados como também para avaliar o grau de perda da qualidade do solo estudado em relação a sua condição original.

4. Os atributos químicos se mostraram superiores principalmente no que diz respeito ao teor de fósforo e a saturação por bases, isto ocorre devido a elevada concentração de nutrientes fosfatados no lodo de esgoto e devido o uso de calcário para a elevação do pH nestes ambientes que apresentam um pH muito baixo.

5. A resistência mecânica a penetração verificada em algumas profundidades das áreas mineradas podem restringir o crescimento de raízes das espécies arbóreas introduzidas e de espécies sucessoras.

6. A adoção de modelos gráficos piramidais constitui-se em instrumento de fácil visualização e interpretação das modificações na qualidade dos substratos em relação às áreas de Cerrado nativo.

7. O uso do lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica em áreas degradadas pela mineração pode ser uma ótima fonte alternativa de incorporação deste insumo produzido nas Estações de Tratamentos de Esgotos. Contudo, deve-se atentar as condições sanitárias de uso deste material devido a existência de patógenos e metais pesados que não foram analisados neste trabalho.

8. O uso de fertilizantes ou de cobertura morta para corrigir a escassez de nutrientes sobre a superfície de áreas mineradas, transformam os substratos de áreas mineradas em ambientes adequados ao surgimento e desenvolvimento de plantas, entretanto, o seu uso correto requer análises físicas e químicas preliminares para a adoção de corretivos e fertilizantes nestas áreas visto que o seu uso pode ser desnecessário.

9. Os substratos das áreas mineradas, são geralmente compactados, apresentam baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, baixa capacidade de armazenamento de água e conseqüentemente um elevado carreamento de nutrientes pela superfície surgindo desta forma, erosões. Percebeu-se neste trabalho que a intervenção humana é necessária pois, aumenta-se os teores de matéria orgânica com a incorporação do lodo de esgoto, e aumenta-se a capacidade de água disponível para as plantas, elevando-se os teores de nutrientes, e diminuindo-se a compactação do solo com o uso de técnicas de conservação do solo que permitem reduzir a energia cinética das enxurradas nestes ambientes através da construção de terraços e de atividades de subsolagem e escarificação dos substratos minerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. **Caracterização da região dos Cerrados**. In: GOEDERT, W. J. Solos dos Cerrados – Tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo. Nobel; Brasília. EMBRAPA. 1987. p.33-74.
- ANDRADE, A. R. S.; GUERRINI, I. V. A.; GARCIA, C. J. B.; KATEZ, I.; GUERRA, H. O. G. **Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação**. Ciências Agro. Lavras. V.29, n.2.p.322-329. 2005.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2º Ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001. 300p
- ARAÚJO, G. H. M. F de. **Efeito do Manejo sobre a qualidade do substrato e o desenvolvimento de espécies arbóreas do cerrado em uma cascalheira no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006. p.83. Dissertação de Mestrado.
- ARAÚJO, R. **Avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2004. p.77. Dissertação de Mestrado.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; CROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison. SSSA. Special publication. 49, p.61-82. 1996.
- ASSAD, M. L. L. Macrofauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC. p.524. 1997.
- BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D. AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163. 2004.
- BRASIL, **Agricultura Sustentável**. Brasília: IBAMA, p.190. 2000.
- BURGER, J. A.; KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Ecol. Manag.* 122:155-166. 1999.
- CAESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Coleta e Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <http://www.caesb.df.gov.br/colesg.asp>. Acessado em 31/01/2009.
- CAESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Água e Esgotos no Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.caesb.df.gov.br/colesg.asp>. Acessado em: 31/01/ 2009.

- CAIRNS, J.; ALAUGH, D.; BUSEY, F.; CHANAY, M. The Sequential Comparison Index – A Simplified Method for Non-Biologists to Estimate Relative Differences In Biological Diversity In Stream Pollution Studies. **Journal Watter Pollut Contr Fed**, n.40, p.1607-1613. 1968.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, p.132. 1997.
- CARNEIRO, P. J. R.; SOUZA, N. M de. **Distribuição e localização dos Materiais Naturais de Construção no Distrito Federal**. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília, Ed. Universa, p. 49-67. 2004.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M de. S.; SOARES, A. L. L. **Carbono Orgânico, Nitrogênio Total, Biomassa e Atividade Microbiana do Solo em duas cronosequências de Reabilitação após a Mineração de Bauxita**. R. Bras. Ciência do Solo, 32:621-632, 2008.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistemas agroflorestais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.39,n.1, p.223-227. 2004.
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field Capacity and Available Water Capacity. In: KLUTE, A. (Orgs.). **Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. Madison: American Society of Agronomy – SSSA. 1986. p.901-924.
- CASAGRANDE, J. C.; REIS-DUARTE, R. M.; SOARES, M. R. **Interação solo-vegetação de áreas degradadas**. In: Anais do Simpósio Regional de Recuperação de Áreas Degradadas do Grande ABC: Gestão e Proposta. São Caetano do Sul, Ed. Nacional. 2006.
- CETESB. **Seminário Participativo** - Câmara Ambiental do Setor de Saneamento, 2008.
- COLODRO, Gilberto. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. Campinas, SP: [s.n.] 2005.
- CONAM - **CONSELHO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL**. Resolução N.º 03, de 18 de julho de 2006.
- CONAMA – **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. Resolução N° 375130, de 29 de agosto de 2006. Publicada no DOU nº 167, de 30 de agosto de 2006, Seção 1, páginas 141-146.
- CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L. **Desmatamento e Mineração em Unidade de Conservação**. In: CORRÊA, R. S.; FILHO, B de. M. **Ecologia e Recuperação de Áreas Degradadas no Cerrado**. Brasília. Paralelo. p. 178. 1998.
- CORRÊA, R. S.; FILHO, B. de M. **Aspectos ecológicos da sucessão secundária em áreas mineradas no cerrado**. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p.123-156. 2004.

- CORRÊA, R. S.; BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal.** In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). *Mineração e áreas degradadas no cerrado.* Brasília, Ed. Universa, p. 9-21. 2004.
- CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M de. M. **Mineração e áreas degradadas no Cerrado.** Brasília: Universa, p 171. 2004.
- CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado – Manual para revegetação.** Brasília: Universa. p.186. 2007.
- CORRÊA, R.S.; FONSECA, Y. M.F.; CORREA, A.S.; **Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto.** Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental.PB, 2007. v. 141, nº 4 , páginas.420-426.
- CORREIA, E. F. C. **Organização de comunidades da fauna de solo: O papel da densidade e da diversidade como indicadores de mudanças ambientais.** In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro, Anais. Viçosa: SBCS, 1997.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes.** In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.* Porto Alegre: Gênese, p. 389-412, 1999.
- COSTA, E. A. **Avaliação da qualidade de solo submetido a dois sistemas de cultivo: plantio direto e preparo convencional.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2005, p.113. Dissertação de Mestrado.
- COSTA, L. M da.; NACIF, P. G. S.; COSTA, O. V.; OLSZEWSKI, N. **Manejo dos Solos da Região dos Cerrados.** In: ARAUJO, Q. R de. 500 anos de uso do solo no Brasil. XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Ilhéus. 2000. p.201-215.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do Solo.** Nilton Curi (Coord.) Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.90. 1993.
- D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás.** Lavras. Universidade Federal de Lavras, p. 106. 2001. Dissertação de Mestrado.
- DAJOZ, R. *Ecologia geral.* São Paulo: Vozes, Ed. 2ª. 1973.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality.** In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison. SSSA. p.3-21. 1994.

- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Quantitative indications of soil quality: a minimum data set.** In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. Ed. *Methods for assessing soil quality.* Madison: Soil Science Society of America. p.145-231. 1996.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. **Soil health and sustainability.** In: SPARKS, D. L. (ed.) *Advances in Agronomy.* Vol. 56. Academic Press, San Diego, CA., p. 2-54.1996.
- DUARTE, M.P. **Aspectos legais e procedimentos de disposição de lodos de ETEs em solo agrícola.** Departamento Jurídico da CETESB, SP, 2008.
- DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécies de Mata Atlântica.** ESALQ/USP: Piracicaba. p.70. 2002. Dissertação de Mestrado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro. p.212. 1997.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B dos. Influência da Saturação por Bases na Disponibilidade de Micronutrientes no Solo e na Produtividade de grãos do Feijoeiro. EMBRAPA – Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, p. 1010 – 1013. 2005.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Micronutrients in crop production.** *Advances in Agronomy,* New York. V. 77. p. 185 – 268. 2002.
- FARIA, S. M de.; CHADA, S. de S. **Interação microorganismos e plantas na recuperação de áreas degradadas.** Disponível em: <www.rc.unesp.br/xivsb/bsp/Mesa03MSMF.pdf>. Acessado em: 07/05/2007.
- FELFILI, J. M. ; RIBEIRO, J. F.; BORGES – FILHO, H.C; DO VALE A. T. 2004. **Potencial econômico da biodiversidade do Cerrado: estágio atual e possibilidades de manejo sustentável dos recursos da flora.** p. 177- 220. In: AGUIAR, L. M. de S. *DIÁRIO OFICIAL DO DF – DODF.* Resolução N° 03/2006, de 18 de julho de 2006.
- FINEP. <http://www.finep.gov.br>. Acessado em: 20/01/2009.
- FOESS, G.W. , SIEGER, R.B. **Pathogen/ Attraction Reduction Requeriments of the Sludge Rules.** *Water Engineering & Management,* p. 25-26, June. 1993.
- FRANK, R. **The use of biosolids from wastewater treatment plants in agriculture.** *Env. Manag.,* 9:, 1998. p. 165-169.
- GIRACCA, E.M.N.; ANTONIOLLI, Z.I.; ELTZ, F.L.F; BENEDETTI, E.; LASTA, E.; VENTURINI, S.F.; VENTURINI, E.F.; BENEDETTI, T. **Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudos - RS. R. Bras. Agrocência,** v. 9, n. 3, p. 256-261, 2003.

- GOEDERT, W. J. **Qualidade do Solo em Sistemas de Produção Agrícola** – XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005.
- GOEDERT, Wenceslau J. **Solos dos Cerrados : Tecnologias e estratégias de manejo**. Ed. Nobel. São Paulo, p.43 – 63. 1986.
- GOEDERT, W. J. Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. In: GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. Brasília: EMBRAPA. p. 237-257. 1985.
- GOEDERT, W. J.; CORRÊA, R. S. **Usos, degradação e qualidade do solo**. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.) **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p.159-172. 2004.
- GRANT, C. A.; LANFOND, G. O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clayey soil in Southern Saskatchewan. **Canadian of Soil Science**, Ottawa, v.73, p.223-232. 1993.
- GRAY, N. F. **Water technology: An introduction for environmental scientists and engineers**. London, Arnold. p.538. 1999.
- GUILHEREME, M.S. **Análise do lodo de esgoto: seleção de métodos de recuperação de (oo) cistos de protozoários patogênicos**. Campinas:SP [s.n.],1998.
- HOFER, H. et al. **Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed culture system in Amazônia**. BMBF, 299 pp., 2000.
- http: www.ambientebrasil.com.br **Cerrado: Localização, caracterização, clima e hidrografia, geologia, relevo e solos, flora e fauna**. Acessado em 03/01/2009.
- HUE, N. V. Sewage sludge. In: RECHCIGL. J.E. ed. **Soil Amendments and Environmental Quality**. Boca Raton, CRC Press, p. 168-199, 1995.
- IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de vegetação**. Brasília, 1990.
- IBGE. Dados de 2006. Sítio consultado: www.ibge.gov.br acessado em: 04/02/2009.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. **Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.25. p.11-18. 2001.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. **Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.7. p.1493-1500. 2000.
- ISLAM, K.R.; WEIL, R. R. **Land use effects on soil quality in a tropical Forest ecosystem of Bangladesh**. Agr. Ecosys. Environment, 79:9-16.2000.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo. Ceres. p.262. 1979.

- KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. **Áreas degradadas e sua recuperação.** In:EPAMIG. **Recuperação de áreas degradadas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22,n.210, p.10-17, 2001.
- LACERDA, R. D de.; MENDES, J da. S.; CHAVES, L. H. G. Manejo de solos ácidos: Comparação de métodos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra.* Vol, 06. Nº 01. p. 34-38. 2006.
- LAL, R. L. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos.** Tradução: MEDUGNO, C. C.; DYNIA, J. F. Jaguariúna: EMBRAPA. p.97. 1999.
- LAVELLE, P.; PASHANASI, B. **Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto).** *Pedobiologia,* v. 33, p.283-291, 1989.
- LEITE, L. L.; MARTINS, C. R.; HARIDASAN, M. **Efeitos da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília.** In: Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Paraná. p.527-534. 1994.
- LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”: Características, propriedades e manejo.** São Paulo, Piracicaba. p.162.1983.
- LOPES, M.A.J.B.M, **Incorporação de Lodo de Esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com Rabanete.** PE, 2008. 99p. Dissertação de Mestrado.
- LYONS, K. G.; BRIGHAM, C. A.; TRAUT, B. A.; SCHWARTZ, M. W. Rare species and ecosystem functioning. *Conservation Biology,* v.19, n.4, p.1019-1024. 2005.
- MAIA, M. L., **Uma contribuição na análise de viabilidade econômica, social e ambiental no uso de lodo de esgoto na agricultura do Distrito Federal.**2006, 137p.. Dissertação de Mestrado.
- MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação.** São Paulo: Ceres. p.256.1979.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas.** São Paulo: Ceres. p.496. 1987.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no Cerrado.** Piracicaba: Potafos. p.136. 1985.
- MELLO, F de. A. F de.; SOBRINHO, M de. O. C do. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J de. C. **Fertilidade do Solo.** São Paulo: Nobel, p.400, 1984.
- MELLO, G de.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.10, n.2, p.294-305. 2006.

- MENDES, R. C. A. **Restrições físicas ao crescimento radicular em latossolo muito argiloso**. Brasília: UNB/BIOVEG. Dissertação de Mestrado. p.81. 1989.
- MORRIS, M. L. M. **Avaliação da Qualidade do Solo sob Sistema Orgânico de Cultivo**. Brasília. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2007. 82p. Dissertação de Mestrado.
- NASCIMENTO, C.W.A; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto**. Viçosa. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 28, p. 385- 392, 2004.
- NURAD/GRN/DITEC. **Extração mineral no Distrito Federal**. Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal – IEMA/SEMATEC. 1996. p.37.
- ODUM, E. P. Ecologia . University of Geórgia. Rio de Janeiro: Guanabara. 1988.
- OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. **Dinâmica da Resistência à Penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia**. R. Bras. Eng. Agrícola Ambiental, v. 11, n. 3, p. 265-270. 2007.
- OLIVEIRA, C. A da. S. **A Física e a conservação de solo e água em cultivos sob plantio direto**. Especialização por tutoria à distância – FAV/UNB/ABEAS. Curso de Plantio Direto. 2007.
- PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. Campinas, SP: [s.n.],2006.
- PINHEIRO, C de. Q. **Avaliação da recuperação da cascalheira do Aeroporto Internacional de Brasília – Juscelino Kubitschek: aspectos edáficos, florísticos e ecológicos**. Brasília: UNB/EFL. p.84, 2008. Dissertação de Mestrado.
- PINTO, L. C. G. **Uso dos Solos nos Cerrados**. In: ARAUJO, Q. R de. 500 anos de Uso do Solo no Brasil. Ilhéus. BA. p.189-200. 2000.
- PIRES, A.M.M, EMBRAPA - **USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO: ASPECTOS LEGAIS**. Jaguariúna, 2006. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Pires_lodoID-0L1Y8Wo2Vx.pdf. Acessado em:22/01/ 2009.
- RAIJ, V. B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba: Ceres Potafos. p. 343. 1991.
- REIS, L. L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**.Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. p.175. 2006. Tese de Doutorado.
- RIBON, A. A.; FILHO, J. T. **Models for the estimation of the physical quality of a yellow red latosol (oxisol) under pasture**. Londrina, v.47, n.1.p.25-31.2004.

- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. **Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado**. Campina Grande: Agriambi. v.11. n.1. p.73-80. 2007.
- SAITO, M.L. **O uso de lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. p28, 2007.
- SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. ed. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.
- SANTANA, D. P. **Indicadores de qualidade do solo: físicos químicos e biológicos**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28., 1999, Brasília. Viçosa: SBCS, 1999.
- SANTANA, D. P.; FILHO, A. F. C. B. **Qualidade do Solo: Uma Visão Holística**. SBCS, 27(2):15-18. 2002.
- SANTOS, L. C. A dos. **Avaliação da qualidade de substratos revegetados por meio do uso da fauna de solo**. PIBIC/UNB. p.9.2006.
- SANTOS, P. F.; PHILLIPS, J; WHITFORD, W. G. The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in a desert. **The Ecological Society of America. Ecology**. p.664-669. 1981.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *SSSA: Madison*. 58:1775-1781. 2004.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; JÚNIOR, J de. S. A. Métodos de Quantificação da Matéria Orgânica do Solo. *R. Un, Alfenas*. n.5, p.21-26. 1999.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. **Matéria orgânica do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (eds.). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA. p. 465-524. 1997.
- SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. **Atributos físicos de dois latossolos afetados pela compactação do solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.4, p.842-847, 2006.
- SILVA, V da.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V de. F.; LIMA, V. C. **Variáveis de Acidez em Função da Mineralogia da Fração Argila do Solo**. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:551-559, 2008.
- SILVA, R. R da.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande – MG. *Lavras, Ciências Agrotécnicas*, v.29, n.4, p.719-730. 2005.
- SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. UFBA, 2005. Dissertação de Mestrado.

- SOUZA, M. A. S.; SILVA, C. A. I.; ALCANTARA, L. P de.; BORGES, E. N. **Variabilidade Espacial do Atributo Químico Saturação por Bases em Três Regiões do Cafeeiro sob Diferentes Sistemas de Manejo em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.** IV Encontro Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. p. 1545-1548. 2006.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI, V. L. N.; **Penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-Stolf: Recomendação para seu uso.** STAB, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23. 1983.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetros de impacto em resistência do solo. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3. p.229-235. 1991.
- TCDF. Processo. N° 1.948/05 – decisão: n° 3.804/06. Disponível em: http://www.tc.df.gov.br/portal/ind.php?option=com_content&do_pdf=1&id=82. Acessado em: 06 maio. 2007.
- THOMAZ-SOCCOL V., PAULINO R.C., CASTRO E. A. **Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto.** In: ANDREOLI ; Bonnet. *Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.* 2.ed. Curitiba:Editora, 2000. p.28-41.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** J. Soil Sci., 33:141-163, 1983.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. **Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* Viçosa, v.28, n.6, p.1023-1031. 2004.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência mecânica à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59. p.795-801. 2002.
- TOTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2:195-276. 2002.
- TSUTIYA, M.T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações tratamento de esgoto.**In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, cap. 4. p. 69 – 106, 2000.
- USEPA – UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Biosolids generation use and disposal in the United States**, Washington, DC: Municipal and Industrial Solid Waste, 199. (EPA 530-R-99-009) 75p.

- VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC. p.524. 1997.
- VASCONCELOS, H. L. **Respostas das formigas à fragmentação florestal**. IPEF, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 95-98, 1998.
- VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M de. F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. EMBRAPA – Comunicado Técnico, São Carlos, p.5, 2002.
- VIDOR, C. **Descarte de lodo de estações de tratamento de efluentes domésticos no solo**. In: TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. (Ed) Manejo racional de resíduos no solo. Porto Alegre: DS/UFRGS, p 128- 150, 1998.

9. ANEXOS

ANEXO A – ANÁLISE QUÍMICA

	DADOS	pH 1	pH 2	Δ pH	M.O	P	P res	K	S	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	CTCt	V%	m%	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K%	Ca%	Mg%	H+Al%	Na%
DF430.N	Média	5,80	4,83	0,97	3,00	4,83		73,33		0,73	0,20		0,00	1,90	3,03	37,33	0,00	3,67	3,90	1,07	6,33	24,00	6,67	63,00	0,00
	Mediana	5,80	4,90	0,90	3,00	2,70		73,00		0,80	0,20		0,00	2,00	3,20	38,00	0,00	4,00	4,10	1,10	6,00	24,00	6,00	63,00	0,00
	Desvio	0,00	0,09	0,09	0,24	3,52		2,05		0,09	0,00		0,00	0,22	0,31	0,94	0,00	0,47	0,43	0,05	0,47	0,82	0,94	0,82	0,00
	Coef. Var	0,00	1,95	9,75	8,16	72,90		2,80		12,86	0,00		0,00	11,37	10,19	2,53	0,00	12,86	11,08	4,42	7,44	3,40	14,14	1,30	0,00
	IC	0,00	0,11	0,11	0,28	3,99		2,33		0,11	0,00		0,00	0,24	0,35	1,07	0,00	0,53	0,49	0,05	0,53	0,92	1,07	0,92	0,00
DF430.C	Média	5,40	4,40	1,00	5,30	1,90		98,00		0,33	0,13		0,33	6,50	7,23	10,00	31,67	2,67	1,33	0,53	3,67	4,33	1,67	90,33	0,00
	Mediana	5,40	4,40	1,00	5,30	1,90		100,00		0,30	0,10		0,30	6,40	7,30	10,00	30,00	3,00	1,30	0,40	4,00	4,00	1,00	91,00	0,00
	Desvio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		5,89		0,05	0,05		0,05	0,22	0,17	1,63	6,24	0,47	0,12	0,19	0,47	0,47	0,94	1,70	0,00
	Coef. Var	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		6,01		14,14	35,36		14,14	3,32	2,35	16,33	19,69	17,68	9,35	35,36	12,86	10,88	56,57	1,88	0,00
	IC	0,00	0,00		0,00	0,00		6,66		0,05	0,05		0,05	0,24	0,19	1,85	7,06	0,53	0,14	0,21	0,53	0,53	1,07	1,92	0,00
BR251.N	Média	5,10	5,03	0,07	5,70	1380,30		109,00		8,73	4,67		0,10	10,10	23,80	57,33	1,00	1,90	57,73	28,93	1,00	36,33	19,67	43,00	0,00
	Mediana	5,10	5,10	0,10	4,80	1376,80		127,00		8,50	4,80		0,10	9,60	23,40	59,00	1,00	1,80	31,40	17,20	1,00	36,00	21,00	41,00	0,00
	Desvio	0,08	0,09	0,05	1,79	108,09		63,35		1,11	0,82		0,00	1,00	1,10	6,24	0,00	0,14	46,44	21,43	0,82	2,87	2,62	5,89	0,00
	Coef. Var	1,60	1,87	70,71	31,42	7,83		58,12		12,76	17,61		0,00	9,93	4,62	10,88	0,00	7,44	80,43	74,07	81,65	7,89	13,35	13,69	0,00
	IC	0,09	0,11	0,05	2,03	122,31		71,68		1,26	0,93		0,00	1,14	1,24	7,06	0,00	0,16	52,55	24,25	0,92	3,24	2,97	6,66	0,00
BR251.C	Média	5,30	4,43	0,87	4,47	2,30		99,00		0,90	0,43		0,27	5,67	7,27	22,00	15,00	2,13	3,90	1,93	3,67	12,33	5,67	78,33	0,00
	Mediana	5,20	4,40	0,80	4,40	1,80		80,00		0,90	0,40		0,30	5,80	7,20	23,00	15,00	2,30	3,40	1,50	3,00	12,00	5,00	78,00	0,00
	Desvio	0,14	0,05	0,09	0,09	0,93		31,95		0,16	0,12		0,05	0,26	0,17	3,74	4,08	0,24	1,47	0,91	0,94	2,05	1,70	3,68	0,00
	Coef. Var	2,67	1,06	10,88	2,11	40,32		32,27		18,14	28,78		17,68	4,63	2,34	17,01	27,22	11,05	37,74	47,09	25,71	16,66	29,99	4,70	0,00
	IC	0,16	0,05	0,11	0,11	1,05		36,15		0,18	0,14		0,05	0,30	0,19	4,23	4,62	0,27	1,67	1,03	1,07	2,33	1,92	4,17	0,00

BR070.N	Média	5,13	5,00	0,13	6,93	1438,53	177,33	7,57	3,13	0,07	9,27	20,40	54,00	0,33	2,60	17,60	7,60	2,33	37,33	15,33	45,00	0,00
	Mediana	5,20	5,10	0,10	6,20	1490,20	182,00	7,80	2,40	0,00	9,40	20,80	51,00	0,00	2,50	14,20	5,20	3,00	38,00	14,00	47,00	0,00
	Desvio	0,17	0,22	0,05	1,41	105,56	32,01	1,28	1,04	0,09	0,74	2,55	4,24	0,47	0,54	5,90	3,97	0,94	1,70	3,40	3,56	0,00
	Coef. Var	3,31	4,32	35,36	20,27	7,34	18,05	16,87	33,10	141,42	8,00	12,48	7,86	141,42	20,59	33,53	52,28	40,41	4,55	22,17	7,91	0,00
	IC	0,19	0,24	0,05	1,59	119,46	36,23	1,44	1,17	0,11	0,84	2,88	4,80	0,53	0,61	6,68	4,50	1,07	1,92	3,85	4,03	0,00
BR070.C	Média	4,90	4,20	0,70	4,67	12,40	130,33	0,77	0,40	0,47	6,70	8,17	18,00	24,00	1,97	2,27	1,23	4,00	9,33	5,00	81,67	0,00
	Mediana	4,90	4,20	0,70	4,80	3,60	134,00	0,70	0,40	0,40	6,60	8,00	18,00	22,00	1,80	2,20	1,20	4,00	9,00	5,00	82,00	0,00
	Desvio	0,00	0,08	0,08	0,26	13,16	5,91	0,09	0,00	0,09	0,29	0,24	1,63	4,32	0,24	0,25	0,05	0,00	1,25	0,00	1,25	0,00
	Coef. Var	0,00	1,94	11,66	5,62	106,12	4,53	12,30	0,00	20,20	4,39	2,89	9,07	18,00	11,98	11,00	3,82	0,00	13,36	0,00	1,53	0,00
	IC	0,00	0,09	0,09	0,30	14,89	6,68	0,11	0,00	0,11	0,33	0,27	1,85	4,89	0,27	0,28	0,05	0,00	1,41	0,00	1,41	0,00
BR060.N	Média	5,13	4,90	0,23	7,97	1054,97	173,67	6,50	1,87	0,00	9,73	18,53	47,67	0,00	3,50	14,80	4,23	2,33	35,33	10,00	52,33	0,00
	Mediana	5,10	4,90	0,20	8,20	1056,80	167,00	6,80	1,90	0,00	9,40	18,50	49,00	0,00	3,60	15,90	4,40	2,00	37,00	10,00	51,00	0,00
	Desvio	0,05	0,08	0,05	0,63	46,84	13,12	0,57	0,05	0,00	1,33	0,78	4,99	0,00	0,22	2,30	0,39	0,47	4,64	0,82	4,99	0,00
	Coef. Var	0,92	1,67	20,20	7,96	4,44	7,56	8,79	2,53	0,00	13,64	4,19	10,47	0,00	6,17	15,54	9,11	20,20	13,14	8,16	9,53	0,00
	IC	0,05	0,09	0,05	0,72	53,01	14,85	0,65	0,05	0,00	1,50	0,88	5,65	0,00	0,24	2,60	0,44	0,53	5,25	0,92	5,65	0,00
BR060.C	Média	4,90	4,10	0,80	5,83	9,80	99,00	0,17	0,20	0,50	9,33	9,97	6,33	39,00	0,90	0,67	0,80	2,67	1,67	2,00	93,67	0,00
	Mediana	4,80	4,10	0,70	5,80	2,30	98,00	0,20	0,20	0,70	9,20	9,80	7,00	50,00	1,00	0,80	0,80	3,00	2,00	2,00	93,00	0,00
	Desvio	0,14	0,00	0,14	0,45	10,96	2,16	0,05	0,08	0,36	0,26	0,39	1,70	28,44	0,14	0,19	0,33	0,47	0,47	0,82	0,94	0,00
	Coef. Var	2,89	0,00	17,68	7,71	111,86	2,18	28,28	40,82	71,18	2,81	3,87	26,84	72,92	15,71	28,28	40,82	17,68	28,28	40,82	1,01	0,00
	IC	0,16	0,00	1,00	0,51	12,40	2,44	0,05	0,09	0,40	0,30	0,44	1,92	32,18	0,16	0,21	0,37	0,53	0,53	0,92	1,07	0,00
QI29.N	Média	5,50	4,87	0,63	2,97	26,97	31,33	1,13	0,43	0,03	4,00	5,67	29,33	2,33	2,67	14,10	5,33	1,33	20,00	7,67	71,00	0,00
	Mediana	5,50	4,90	0,60	3,00	30,20	28,00	1,00	0,40	0,00	3,80	5,90	29,00	0,00	2,50	14,10	5,60	1,00	20,00	8,00	71,00	0,00
	Desvio	0,08	0,05	0,05	0,29	7,73	6,94	0,26	0,12	0,05	0,43	0,40	6,13	3,30	0,24	0,16	0,45	0,47	4,08	2,05	6,53	0,00
	Coef. Var	1,48	0,97	7,44	9,67	28,68	22,16	23,16	28,78	141,42	10,80	7,11	20,89	141,42	8,84	1,16	8,43	35,36	20,41	26,80	9,20	0,00
	IC	0,09	0,05	0,05	0,32	8,75	7,86	0,30	0,14	0,05	0,49	0,46	6,93	3,73	0,27	0,18	0,51	0,53	4,62	2,33	7,39	0,00
QI29.C	Média	5,17	4,23	0,93	2,23	2,13	57,00	0,13	0,13	0,57	3,93	4,33	9,00	59,67	1,00	0,90	0,90	3,33	2,67	2,67	91,33	0,00

Mediana	5,10	4,20	0,90	2,30	2,10	49,00	0,10	0,10	0,60	4,00	4,30	7,00	67,00	1,00	0,80	0,80	3,00	2,00	2,00	93,00	0,00
Desvio	0,09	0,05	0,05	0,09	0,37	11,31	0,05	0,05	0,05	0,09	0,21	2,83	10,37	0,00	0,14	0,14	0,47	0,94	0,94	2,36	0,00
Coef. Var	1,82	1,11	5,05	4,22	17,26	19,85	35,36	35,36	8,32	2,40	4,74	31,43	17,38	0,00	15,71	15,71	14,14	35,36	35,36	2,58	0,00
I.C	0,11	0,05	0,05	0,11	0,42	12,80	0,05	0,05	0,05	0,11	0,23	3,20	11,74	0,00	0,16	0,16	0,53	1,07	1,07	2,67	0,00

Legenda: pH1 – em água, pH2 – em CaCl₂; M.O – dag/kg; P, K, S – mg/dm³; Ca, Mg, Na, Al, H+Al, CTCt – cmolc/dm³;

ANEXO B – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

ÁREAS		AREIA	SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
DF430.N01	DF430.N01	33	22	45	Argila
	DF430.N02	34	20	46	Argila
	DF430.N03	36	20	44	Argila
	Média	34	21	45	
	Desvio	1,25	0,94	0,81	
	Variância	1,55	0,89	0,67	
	IC	1,41	1,07	0,92	
DF430.C01	DF430.C01	19	30	51	Argila
	DF430.C02	21	30	49	Argila
	DF430.C03	21	29	50	Argila
	Média	20,33	29,67	50,00	
	Desvio	0,94	0,47	0,82	
	Variância	0,89	0,22	0,67	
	IC	1,07	0,53	0,92	
BR251.N01	BR251.N01	37	45	18	Franco
	BR251.N02	33	48	19	Franco
	BR251.N03	21	64	15	Franco Siltoso
	Média	30,33	52,33	17,33	
	Desvio	6,79	8,34	1,70	
	Variância	46,22	69,56	2,89	
	IC	7,69	9,44	1,92	
BR251.C01	BR251.C01	30	24	46	Argila
	BR251.C02	28	26	46	Argila
	BR251.C03	29	23	48	Argila
	Média	29,00	24,33	46,67	
	Desvio	0,82	1,25	0,94	
	Variância	0,67	1,56	0,89	

IC	0,92	1,41	1,07	
BR070.N01	14	32	54	Argila
BR070.N02	21	31	48	Argila
BR070.N03	19	33	48	Argila
Média	18,00	32,00	50,00	
Desvio	2,94	0,82	2,83	
Variância	8,67	0,67	8,00	
IC	3,33	0,92	3,20	
BR070.C01	28	44	28	Franco
BR070.C02	23	54	23	Franco siltoso
BR070.C03	25	51	24	Franco siltoso
Média	25,33	49,67	25,00	
Desvio	2,05	4,19	2,16	
Variância	4,22	17,56	4,67	
IC	2,32	4,74	2,44	
BR060.N01	38	40	22	Franco
BR060.N02	35	47	18	Franco
BR060.N03	37	45	18	Franco
Média	36,67	44,00	19,33	
Desvio	1,25	2,94	1,88	
Variância	1,56	8,67	3,56	
IC	1,41	3,33	2,13	
BR060.C01	14	26	60	Argila
BR060.C02	14	28	58	Argila
BR060.C03	14	26	60	Argila
Média	14,00	26,67	59,33	
Desvio	0,00	0,94	0,94	
Variância	0,00	0,89	0,89	

IC	0,00	0,00	1,07	
QI29.N01	15	37	48	Argila
QI29.N02				
QI29.N03				
Média				
Desvio				
Variância				
QI29.C01	74	13	13	Franco Arenoso
QI29.C02	75	13	12	Franco Arenoso
QI29.C03	74	14	12	Franco Arenoso
Média	74,33	13,33	12,33	
Desvio	0,47	0,47	0,47	
Variância	0,22	0,22	0,22	
IC	0,53	0,53	0,53	

ANEXO C – MACROFAUNA

ÁREA	DF430.C1	DF430.C2	DF430.C3	DF430.C4	DF430.C5	DF430.C6	DF430.C7	DF430.C8	DF430.C9	DF430.C10	Médias	Variancia	Desvio	IC
ORDENS														
ISOPTERA	48	91	37	22	23	35	29	15	4	6	31	570,00	23,87	14,80
COLEOPTERA	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0,4	0,44	0,66	0,41
ORTHOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HIMENOPTERA	63	5	8	0	61	3	77	0	1	14	23,2	853,16	29,21	18,10
ANELÍDEOS	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1	0,09	0,30	0,19
ARACNÍDEOS	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,2	0,16	0,40	0,25
MIRIÁPODES	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1	0,09	0,30	0,19
N.I.1	0	1	2	0	5	0	6	8	2	10	3,4	11,84	3,44	2,13
N.I.2	2	7	8	0	4	0	0	0	4	0	2,5	8,65	2,94	1,82
N.I.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
N.I.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
N.I.5	1	2	0	4	0	7	14	0	8	11	4,7	23,01	4,80	2,97
	DF430.N1	DF430.N2	DF430.N3	DF430.N4	DF430.N5	DF430.N6	DF430.N7	DF430.N8	DF430.N9	DF430.N10				
ISOPTERA	2	76	55	10	51	8	5	8	21	31	26,7	593,21	24,36	15,10
COLEOPTERA	1	0	1	0	1	3	0	0	1	2	0,9	0,89	0,94	0,58
ORTHOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HIMENOPTERA	0	0	6	4	0	3	13	0	17	5	4,8	31,36	5,60	3,47
ANELÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,2	0,16	0,40	0,25
ARACNÍDEOS	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1	0,09	0,30	0,19
MIRIÁPODES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
N.I.1	1	2	4	0	0	5	8	3	2	1	2,6	5,64	2,37	1,47
N.I.2	0	4	5	0	11	0	9	7	6	0	4,2	15,16	3,89	2,41
N.I.3	1	0	0	4	0	0	5	0	0	5	1,5	4,45	2,11	1,31
N.I.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
N.I.5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3	0,8	2,76	1,66	1,03

ÁREA	BR251.C1	BR251.C2	BR251.C3	BR251.C4	BR251.C5	BR251.C6	BR251.C7	BR251.C8	BR251.C9	BR251.C10	Médias	Variancia	Desvio	IC
ORDENS														
ISOPTERA	9	13	39	0	12	0	9	7	18	23	13	120,8	10,99	6,81
COLEOPTERA	0	0	2	1	2	0	1	0	1	0	0,7	0,61	0,78	0,48

ORTHOPTERA	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0,3	0,21	0,46	0,28
HIMENOPTERA	3	28	17	45	23	8	39	0	31	11	20,5	210,05	14,49	8,98
ANELÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
ARACNÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
MIRIÁPODES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1	0,09	0,30	0,19
N.I.1	0	2	0	7	0	12	0	0	0	6	2,7	16,01	4,00	2,48
N.I.2	0	13	0	19	0	0	8	0	7	0	4,7	42,21	6,50	4,03
N.I.3	7	0	15	0	11	0	0	21	0	8	6,2	51,56	7,18	4,45
N.I.4	3	0	4	7	9	0	0	1	0	3	2,7	9,21	3,03	1,88
N.I.5	0	2	0	0	0	0	4	0	0	9	1,5	7,85	2,80	1,74

	BR251.N1	BR251.N2	BR251.N3	BR251.N4	BR251.N5	BR251.N6	BR251.N7	BR251.N8	BR251.N9	BR251.N10				
ISOPTERA	13	0	0	0	6	0	0	0	19	0	3,8	42,16	6,49	4,02
COLEOPTERA	0	1	0	0	2	0	1	0	1	2	0,7	0,61	0,78	0,48
ORTHOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
HIMENOPTERA	30	6	0	24	0	0	0	14	7	0	8,1	110,09	10,49	6,50
ANELÍDEOS	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,84	0,92	0,57
ARACNÍDEOS	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0,5	0,45	0,67	0,42
MIRIÁPODES	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0,3	0,41	0,64	0,40
N.I.1	1	2	4	0	0	5	8	3	2	1	2,6	5,64	2,37	1,47
N.I.2	2	10	7	8	3	0	0	0	4	0	3,4	12,64	3,56	2,20
N.I.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
N.I.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
N.I.5	1	2	0	4	0	7	14	0	8	11	4,7	23,01	4,80	2,97

ÁREA	BR070.C1	BR070.C2	BR070.C3	BR070.C4	BR070.C5	BR070.C6	BR070.C7	BR070.C8	BR070.C9	BR070.C10	Médias	Variancia	Desvio	IC
ORDENS														
ISOPTERA	11	7	18	5	21	0	14	4	13	3	9,6	42,84	6,55	4,06
COLEOPTERA	1	0	0	1	2	1	0	0	1	0	0,6	0,44	0,66	0,41
ORTHOPTERA	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0,3	0,21	0,46	0,28
HIMENOPTERA	8	17	22	37	11	6	26	0	41	11	17,9	163,69	12,79	7,93
ANELÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
ARACNÍDEOS	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0,2	0,16	0,40	0,25
N.I.1	0	13	0	17	2	0	0	9	0	0	4,1	37,49	6,12	3,79

N.I.2	14	0	0	0	0	6	7	0	3	1	3,1	19,49	4,41	2,74
N.I.3	8	0	0	5	4	3	1	2	10	12	4,5	16,05	4,01	2,48
N.I.4	1	0	8	0	0	14	0	0	8	0	3,1	22,89	4,78	2,97

	BR070.N1	BR070.N2	BR070.N3	BR070.N4	BR070.N5	BR070.N6	BR070.N7	BR070.N8	BR070.N9	BR070.N10				
ISOPTERA	7	0	3	0	6	0	0	0	13	8	3,7	19,01	4,36	2,70
COLEOPTERA	0	1	0	0	2	2	1	1	0	0	0,7	0,61	0,78	0,48
ORTHOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HIMENOPTERA	28	6	7	20	0	0	8	3	7	21	10	83,20	9,12	5,65
ANELÍDEOS	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0,4	0,44	0,66	0,41
ARACNÍDEOS	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0,5	0,45	0,67	0,42
N.I.1	15	0	12	0	0	0	11	0	5	8	5,1	31,89	5,65	3,50
N.I.2	9	18	0	0	6	13	0	0	7	9	6,2	35,56	5,96	3,70
N.I.3	2	0	13	0	6	5	0	0	3	1	3	15,40	3,92	2,43
N.I.4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	5,80	2,41	1,49

ÁREA	QI29.C1	QI29.C2	QI29.C3	QI29.C4	QI29.C5	QI29.C6	QI29.C7	QI29.C8	QI29.C9	QI29.C10	Média	Variancia	Desvio	IC
ORDENS														
ISOPTERA	12	0	6	85	4	3	7	2	2	0	12,1	602,29	24,54	15,21
COLEOPTERA	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2	0,36	0,60	0,37
ORTHOPTERA	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0,2	0,16	0,40	0,25
HIMENOPTERA	3	1	34	0	15	3	5	13	6	1	8,1	97,49	9,87	6,12
ANELÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,1	0,09	0,30	0,19
ARACNÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1	0,09	0,30	0,19
N.I.1	0	0	7	3	25	0	9	0	0	0	4,4	57,04	7,55	4,68
N.I.2	5	0	8	0	0	6	0	0	0	0	1,9	8,89	2,98	1,85
N.I.3	1	2	8	0	0	0	12	16	0	4	4,3	30,01	5,48	3,40
N.I.4	1	0	0	0	0	3	0	0	5	0	0,9	2,69	1,64	1,02
N.I.5	0	0	0	0	6	0	0	0	4	0	1	4,20	2,05	1,27

	QI29.N1	QI29.N2	QI29.N3	QI29.N4	QI29.N5	QI29.N6	QI29.N7	QI29.N8	QI29.N9	QI29.N10				
ISOPTERA	46	2	18	11	72	11	1	16	12	4	19,3	456,21	21,36	13,24

COLEOPTERA	1	2	1	2	0	1	0	1	2	5	1,5	1,85	1,36	0,84
ORTHOPTERA	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,2	0,16	0,40	0,25
HIMENOPTERA	3	0	2	4	8	37	0	3	0	0	5,7	114,61	10,71	6,64
ANELÍDEOS	0	2	0	0	0	0	2	0	1	1	0,6	0,64	0,80	0,50
ARACNÍDEOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
N.I.1	0	0	23	0	0	37	0	13	0	0	7,3	153,41	12,39	7,68
N.I.2	0	17	10	9	0	0	21	0	0	22	7,9	77,09	8,78	5,44
N.I.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Erro:502
N.I.4	1	0	0	3	0	7	0	0	0	0	1,1	4,69	2,17	1,34
N.I.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Erro:502

ANEXO D – MASSA DE CASCALHO

ÁREA							
DADOS	BR 070 N1	BR 070 N2	BR 070 N3	Média	Variância	Desvio	IC
M1.070.N (Kg)	0,92	1,3	1,1	<i>1,11</i>	<i>0,02</i>	<i>0,16</i>	<i>0,17</i>
M2.070.N (Kg)	0,49	0,67	0,58	<i>0,579</i>	<i>0,005</i>	<i>0,07</i>	<i>0,08</i>
Mc.070.N (Kg)	0,43	0,63	0,52	<i>0,53</i>	<i>0,01</i>	<i>0,08</i>	<i>0,09</i>
	BR 070 C1	BR 070 C2	BR 070 C3				
M1.070.C (Kg)	1,22	1,45	1,03	<i>1,23</i>	<i>0,03</i>	<i>0,17</i>	<i>0,19</i>
M2.070.C (Kg)	0,51	0,62	0,47	<i>0,53</i>	<i>0,003</i>	<i>0,06</i>	<i>0,07</i>
Mc.070.C (Kg)	0,72	0,84	0,56	<i>0,70</i>	<i>0,01</i>	<i>0,11</i>	<i>0,13</i>
DADOS	BR 251 N1	BR 251 N2	BR 251 N3	Média	Variância	Desvio	IC
M1.251.N (Kg)	2,01	2,28	2,32	<i>2,20</i>	<i>0,02</i>	<i>0,13</i>	<i>0,15</i>
M2.251.N (Kg)	0,72	0,73	0,61	<i>0,69</i>	<i>0,003</i>	<i>0,05</i>	<i>0,06</i>
Mc.251.N (Kg)	1,29	1,55	1,71	<i>1,51</i>	<i>0,03</i>	<i>0,17</i>	<i>0,19</i>
	BR 251 C1	BR 251 C2	BR 251 C3				
M1.251.C (Kg)	2,53	2,45	1,97	<i>2,32</i>	<i>0,06</i>	<i>0,25</i>	<i>0,28</i>
M2.251.C (Kg)	1,99	1,95	1,49	<i>1,81</i>	<i>0,05</i>	<i>0,22</i>	<i>0,25</i>
Mc.251.C (Kg)	0,55	0,5	0,48	<i>0,51</i>	<i>0,001</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>
DADOS	BR 060 N1	BR 060 N2	BR 060 N3	Média	Variância	Desvio	IC
M1.060.N (Kg)	0,66	0,75	0,75	<i>0,72</i>	<i>0,002</i>	<i>0,04</i>	<i>0,05</i>
M2.060.N (Kg)	0,34	0,45	0,35	<i>0,38</i>	<i>0,002</i>	<i>0,05</i>	<i>0,06</i>
Mc.060.N (Kg)	0,32	0,31	0,4	<i>0,34</i>	<i>0,001</i>	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>
	BR 060 C1	BR 060 C2	BR 060 C3				
M1.060.C (Kg)	0,6	0,89	0,71	<i>0,73</i>	<i>0,01</i>	<i>0,12</i>	<i>0,14</i>
M2.060.C (Kg)	0,47	0,74	0,58	<i>0,59</i>	<i>0,01</i>	<i>0,11</i>	<i>0,12</i>

Mc.060.C (Kg)	0,12	0,14	0,13	0,13	0,0001	0,009	0,01
DADOS	DF 430 N1	DF 430 N2	DF 430 N3	Média	Variância	Desvio	IC
M1.430.N (Kg)	0,8	0,85	0,96	0,87	0,004	0,06	0,07
M2.430.N (Kg)	0,43	0,48	0,51	0,47	0,001	0,04	0,04
Mc.430.N (Kg)	0,38	0,37	0,45	0,39	0,001	0,03	0,04
	DF 430 C1	DF 430 C2	DF 430 C3				
M1.430.C (Kg)	0,69	0,7	0,79	0,72	0,002	0,04	0,05
M2.430.C (Kg)	0,59	0,62	0,67	0,62	0,001	0,03	0,04
Mc.430.C (Kg)	0,09	0,09	0,12	0,09	0,000	0,01	0,01
DADOS	QI 29 N1	QI 29 N2	QI 29 N3	Média	Variância	Desvio	IC
M1.29.N (Kg)	1,43			1,43			
M2.29.N (Kg)	1,14			1,14			
Mc.29.N (Kg)	0,29			0,29			
	QI 29 C1	QI 29 C2	QI 29 C3				
M1.29.C (Kg)	2,3	2,18	2,31	2,26	0,003	0,06	0,06
M2.29.C (Kg)	1,98	1,87	2,02	1,96	0,003	0,06	0,07
Mc.29.C (Kg)	0,32	0,31	0,3	0,31	0,0001	0,01	0,01

ANEXO E – PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

	DADOS	CTCt cmolc/dm ³	ΔpH	P mg/dm ³	V%
DF430.N	Média	3,03	0,97	4,83	37,33
	Mediana	3,20	0,90	2,70	38,00
DF430.C	Média	7,23	1,00	1,90	10,00
	Mediana	7,30	1,00	1,90	10,00
BR251.N	Média	23,80	0,07	1380,30	57,33
	Mediana	23,40	0,00	1376,80	59,00
BR251.C	Média	7,27	0,87	2,30	22,00
	Mediana	7,20	0,80	1,80	23,00
BR070.N	Média	20,40	0,13	1438,53	54,00
	Mediana	20,80	0,10	1490,20	51,00
BR070.C	Média	8,17	0,70	12,40	18,00
	Mediana	8,00	0,70	3,60	18,00
BR060.N	Média	18,53	0,23	1054,97	47,67
	Mediana	18,50	0,20	1056,80	49,00
BR060.C	Média	9,97	0,80	9,80	6,33
	Mediana	9,80	0,70	2,30	7,00
QI29.N	Média	5,67	0,63	26,97	29,33
	Mediana	5,90	0,60	30,20	29,00
QI29.C	Média	4,33	0,93	2,13	9,00
	Mediana	4,30	0,90	2,10	7,00

ÁREA	CTC	pH	P	V%	Aq	Iz Químico	Iz = a + [a * (Sr - Sy)/Sr * b]	
DF430	10,48	25,83	63,60	93,33	Aq(DF430)	193,25		
BR251	10,96	48,08	15003,26	65,15	Aq(BR251)	15127,45	Muito acima do referencial	CTC ; b = -1
BR070	7,60	45,24	2900,27	75,00	Aq(BR070)	3028,10	Muito acima do referencial	pH ; b = -1
BR060	7,80	42,71	2691,24	188,16	Aq(BR060)	2929,91	Muito acima do referencial	P ; b = -1
QI29	81,88	33,04	316,02	81,48	Aq(QI29)	512,41		V% ; b = -1

* Considerando Iz ≥ 0

	DADOS	Da (g/cm ³)	AD (Água Disponível)	Umidade (0,033 Mpa)	Umidade (1,5 Mpa)	Rp	
DF430.N	Média	1,37	6,27	20,20	13,93	Média Global DF 430	
	Mediana	1,38	5,60	20,60	15,00		3,92
DF430.C	Média	1,00	7,70	21,63	13,93	Média Global DF 430 CERRADO	
	Mediana	1,03	7,90	19,80	11,90		1,54
BR251.N	Média	0,74	12,50	42,00	29,50	Média Global BR 060	
	Mediana	0,69	14,40	49,50	35,10		3,31
BR251.C	Média	1,06	7,20	17,70	10,50	Média Global BR 060 CERRADO	
	Mediana	1,06	7,00	17,20	10,20		1,08
BR070.N	Média	1,15	5,77	17,43	11,67	Média Global QI 29	
	Mediana	1,22	5,10	15,70	10,60		3,37
BR070.C	Média	1,00	7,70	23,07	15,37	Média Global QI 29 CERRADO	
	Mediana	0,99	7,70	20,60	12,90		2,03
BR060.N	Média	0,93	6,70	21,87	15,17	Média Global BR 251	
	Mediana	0,94	6,70	22,10	15,40		4,63
BR060.C	Média	1,28	6,83	18,87	12,03	Média Global BR 251 CERRADO	
	Mediana	1,20	7,00	19,10	12,10		3,567
QI29.N	Média	1,32	9,17	21,43	12,27	Média Global BR 070	
	Mediana	1,34	9,40	22,20	12,80		4,355
QI29.C	Média	1,04	8,27	21,23	12,97	Média Global BR 070 CERRADO	
	Mediana	1,05	9,50	21,40	11,90		1,978
ÁREA	Da	Rp	AD (Água Disponível)	Af	Iz Físico		Da ; b = 1
DF430	21,11	-18,26	27,13	Af(DF430)	48,24		AD ; b = -1
BR251	43,36	23,37	57,87	Af(BR251)	124,61		Rp ; b = 1
BR070	28,57	-6,74	24,96	Af(BR070)	53,54		
BR060	42,30	-35,82	32,68	Af(BR060)	74,98		
QI29	24,25	11,54	36,96	Af(QI29)	72,75		

* Considerando $I_z \geq 0$

	DADOS	FAUNA	M.O dag/kg
DF430.N	Média	41,80	3,00
DF430.C	Média	65,60	5,30
BR251.N	Média	24,50	5,70
BR251.C	Média	52,40	4,47
BR070.N	Média	30,60	6,93
BR070.C	Média	43,40	4,67
BR060.N	Média	25,60	7,97
BR060.C	Média	25,40	5,83
QI29.N	Média	43,60	2,97
QI29.C	Média	33,30	2,23

ÁREA	FAUNA	M.O dag/Kg	Ab	Iz Biológico	M.O ; b = -1 fauna ; b = -1
DF430	21,24	18,87	Ab(DF430)	40,11	
BR251	15,59	42,54	Ab(BR251)	58,12	
BR070	23,50	49,52	Ab(BR070)	73,03	
BR060	33,60	45,52	Ab(BR060)	79,12	b = 1 (se a redução do valor do indicador é considerada desejável)
QI29	43,64	44,28	Ab(QI29)	87,92	b = -1 (se o aumento do valor do indicador é considerado desejável)

* Considerando Iz ≥ 0

Fauna = média global do total de fauna catalogada em relação ao número de blocos de solo.

Atributos	DF430	BR251	BR070	BR060	QI29
Af	48,24	124,61	53,54	74,98	72,75
Aq	193,25	15127,45	3028,10	2929,91	512,41
Ab	40,11	58,12	73,03	79,12	87,92
somatório A(fqb)	281,59	15310,18	3154,67	3084,01	673,09

Gráficos do IQS

	Cerrado DF430	DF430	Cerrado BR251	BR251	Cerrado BR070	BR070	Cerrado060	BR060	Cerrado QI29	QI 29
Af	100	48,24	100	124,61	100	53,54	100	74,98	100	72,75
Aq	100	193,25	100	15127,45	100	3028,10	100	2929,91	100	512,41
Ab	100	40,11	100	58,12	100	73,03	100	79,12	100	87,92