

AFONSO PECHE FILHO

**VARIABILIDADE DA AGREGAÇÃO EM AMOSTRAS
DE SOLOS AGRÍCOLAS COMO INDICADOR DE QUALIDADE:
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Sorocaba
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

AFONSO PECHE FILHO

**VARIABILIDADE DA AGREGAÇÃO EM AMOSTRAS DE
SOLOS AGRÍCOLAS COMO INDICADOR DE QUALIDADE:
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Admilson Irio Ribeiro.

Sorocaba
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais



Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Peche Filho, Afonso.

Variabilidade da agregação em amostras de solos agrícolas como indicador de qualidade: uma proposta metodológica / Afonso Peche Filho, 2018.

87 f.: il.

Orientador: Admilson Irio Ribeiro.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Solos - Agregação. 2. Física do solo. 3. Indicadores. 4. Agricultura. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: Variabilidade da Agregação de Amostras de Solos Agrícolas

AUTOR: AFONSO PECHE FILHO

ORIENTADOR: ADMILSON IRIO RIBEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS AMBIENTAIS,
área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO
Engenharia Ambiental / UNESP - ICT Sorocaba


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA
Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba


Prof. Dr. JOSE ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA
Engenharia Ambiental / UNESP - Campus de Sorocaba / UNESP-Sorocaba


Prof. Dr. VIDAL DIAS DA MOTA JUNIOR
Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)


PESQUISADOR ISABELLA CLERICI DE MARIA
Centro de Solos e Recursos Ambientais / INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS

Sorocaba, 02 de março de 2018

*Dedicatória,
Aos meus pais,
Ana, Pedro, Fernando e Henrique
Aos meus amigos*

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual Paulista por oferecer o curso de pós-graduação em Ciências Ambientais.

Ao Prof. Dr. Admilson Irio Ribeiro pela orientação, compreensão, força e amizade.

Aos demais professores da UNESP – Sorocaba, em especial ao Prof. Dr. Gerson Araújo de Medeiros.

Aos amigos Felipe Hashimoto Fengler e Sônia Elisabete Pereira por toda dedicação e ajuda sem a qual não conseguiria vencer.

Aos também amigos da UNESP Sorocaba: Bruno Marques, Daniel, Adriano e Giovanna pelo companheirismo.

Aos pesquisadores do IAC: Moises Storino, Isabella Clerice de Maria e Jener Fernando Leite de Moraes.

Aos funcionários do Centro de Engenharia e Automação – IAC.

Aos colegas da Associação Mata Ciliar: Luiz Henrique Aiello e Jorge Belix pelo apoio e amizade.

Aos produtores rurais,

PECHE FILHO, A. **Variabilidade da agregação em amostras de solos agrícolas como indicador de qualidade: uma proposta metodológica**. 2018. 87 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Campus Experimental de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

RESUMO

As questões ambientais que envolvem os efeitos do manejo e da degradação do solo necessitam de forma acelerada de pesquisa e muita extensão. Novos saberes e conhecimentos têm alcançado parte da comunidade acadêmica, mas ainda está aquém das necessidades para técnicos e leigos envolvidos em trazer soluções para problemas da ocupação, uso e degradação das terras. O manejo e recuperação ambiental de áreas degradadas são complexos e requerem diferentes tecnologias para o diagnóstico e avaliação. O uso de indicadores como diâmetro médio geométrico e distribuição percentual de agregado são parâmetros de uso consolidados, mas trazem limitações para questões complexas como o diagnóstico do estado e condição de agregação do solo. A agregação do solo vem sendo estudada desde o início do século passado, mas são poucos os avanços conseguidos em popularizar a análise de agregação do solo agrícola como uma ferramenta laboratorial e prática. Além de que, falta conhecimento para popularizar a condição de agregação como informação de uso corrente. O uso de imagens obtidas e processadas em alta resolução permite sua aplicação em diferentes ramos da ciência, podendo ser aplicada nos estudos relacionados com o processo de agregação permitindo viabilizar o mais conhecimento ao processo. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma proposta metodológica para determinar a condição da qualidade de agregação, com base na tipificação de agregados e nos efeitos da variabilidade de composição em amostras de solo agrícola. Foram utilizados parâmetros relacionados com a forma, superfície e biogênese de agregados como indicadores de variabilidade da agregação do solo em duas amostras de latossolo vermelho de textura média, sendo que uma delas é referente a uma parcela de solo que recebeu um produto fertilizante/agregante Microgeo® e outra parcela sem ter recebido o produto. A obtenção dos agregados foi através do processo de peneiramento via seca utilizando cinco peneiras de diferentes calibres. A análise de agregados foi realizada em laboratório a partir de uma sub-amostra contendo 100 agregados oriundos de cada peneira específica, totalizando 500 agregados por amostras individuais de solo, perfazendo um total de 1000 agregados avaliados. A partir da obtenção de 1000 imagens fotográficas, com auxílio de um programa de processamento de imagens, obtêm-se um banco de dados referentes aos parâmetros morfométricos. Através do uso de tecnologia Fuzzy obteve-se um banco de dados numéricos referente à tipificação com base na análise visual da forma, superfície e biogênese dos agregados. Para cada conjunto de dados foi elaborado uma representação gráfica da variabilidade e seu respectivo quadro analítico descritivo. Com auxílio de medidas separatrizes do tipo quintis os dados foram classificados de acordo com a tipologia de ocorrência. Foram utilizados como parâmetros morfométricos o “diâmetro de Feret”, e como parâmetro de tipificação rugosidade de superfície e a “saída Fuzzy de tipificação” (os valores de integração com uso da tecnologia Fuzzy) o qual denominamos “Índice Fuzzy de Tipificação”. Os resultados permitem afirmar que o trabalho atendeu os objetivos proposto de oferecer para sociedade uma “metodologia para qualificar a agregação em amostras de solos agrícolas”. Os resultados permitem aceitar as hipóteses formuladas e concluir que o estudo sobre efeitos da variabilidade permite quantificar, diagnosticar e qualificar o estado de agregação de amostras de solo.

Palavras-chave: análise laboratorial, agregados, áreas degradadas, avaliação ambiental, física de solos.

PECHE FILHO, A. **Variability of aggregation as quality indicator in agricultural soils: a methodological proposal.** 2018. 87 f. Thesis (PhD in Environmental Sciences) - Experimental Campus of Sorocaba, UNESP - Univ Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

ABSTRACT

Environmental issues involving the soil management effects and degradation are increasing and need to be extensively researched to be managed. New knowledge about solutions has been produced by academic research, but is still insufficient to solve the problems faced by technicians and other people involved to the field land use planning and degradation problems. Furthermore, the management of soil quality and land reclamation is complex, requiring different technologies for diagnosis and evaluation. The use of indicators, such as geometric mean diameter and percentage distribution of aggregate size, represents classical approaches, but both have limitations in treating the complexity of soil aggregation process. The soil aggregation has been studied since the beginning of the last century, but few advances have been made to popularize it to analyze agricultural soil quality. There are several difficulties to develop laboratory routines and practical tool to evaluate it. The use and processing of high resolution images have been widely applied in several fields of science and represents an interesting solution to study soil aggregation. To fill the existing gap, this work presents a methodological proposal to assess the quality of soil aggregation, by a classification of soil aggregates in terms of composition and variability. Agricultural soil aggregates were analyzed by three attributes: shape, surface and biogenesis. These parameters were used as indicators of soil aggregation quality, and the variability on each parameter was evaluated for two samples of medium texture red latosol, one of them referring to a plot of soil that received a fertilizer/aggregate product Microgeo® and another without receiving it. The aggregates were passed through the dry sieving process using five different sizes. The laboratorial analysis was performed by subsampling 100 aggregates from each sieve, totaling 500 aggregates per soil samples, and making a total of 1000 aggregates. Each soil aggregate was photographed, totalling 1000 pictures, later processed on ImageJ. All results were organized in a database, containing information about the morphometric parameters of all soil aggregates. Fuzzy Logic was employed to transform the aggregate type into numeric values, using the visual analysis of the shape, surface and biogenesis. For each data set, a graphical representation of the variability and its descriptive statistics were calculated, producing an analytical framework. Statistical measures were used to classify the samples according to occurrence of aggregate type. To classify the samples and two sets of indexes were developed. The first one was based on the "Feret diameter", used as morphometric indicator, and the second one based on the "Fuzzy typing output", index produced by the integration of the values of shape, surface and biogenesis by a Fuzzy Inference System, which we call "Fuzzy index of typing". These results allowed affirming that the work fulfill the proposed objectives, offering to society a "methodology to qualify the aggregation quality in samples of agricultural soils". The results also allowed us to accept the formulated hypotheses and conclude that the study of variability can be used to quantify, diagnose and qualify the state of aggregation of soil samples.

Keywords: laboratory analysis, soil aggregates, soil degradation, environmental quality assessment, soil physics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESES	4
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 RESENHA BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AGREGAÇÃO DO SOLO	6
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE USO DE IMAGENS DIGITAIS NA AVALIAÇÃO DE PARTÍCULAS	10
3.3 TIPIFICAÇÃO APLICADA A ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO	13
3.4 MODELAGEM COM LÓGICA FUZZY	16
3.5 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA ESTUDO DA VARIABILIDADE	18
3.5.1 A VARIABILIDADE COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DA QUALIDADE DE AGREGAÇÃO	18
3.5.2 A ANÁLISE GRÁFICA OU ANÁLISE TÉCNICA DO COMPORTAMENTO DE DADOS	20
3.6 INFLUÊNCIA DO SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS NO PROCESSO DE AGREGAÇÃO	21
4 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE MORFOMÉTRICA EM AMOSTRAS DE AGREGADOS DO SOLO	24
4.1 INTRODUÇÃO	24
4.2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA METODOLÓGICA	25
4.2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PLANO DE AMOSTRAGEM	25
4.2.2 ESTUDO DE CASO	25
4.2.3 DIRETRIZES PARA ANÁLISE DOS DADOS	27
4.3 RESULTADOS	27
4.3.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	27
4.3.2 ANÁLISE COM BASE EM CARTAS DE CONTROLE: VARIABILIDADE AO ACASO	30
4.3.3 OBTENÇÃO DA CARTA DE CONTROLE: HIERARQUIZADA	31
4.3.4 CARTAS DE FREQUÊNCIA E CURVA NORMAL	33
4.3.5 OBTENÇÃO DA IMAGEM RELACIONADA COM O COMPORTAMENTO GRÁFICO DO ESTADO DE AGREGAÇÃO	33
4.3.6 PROPOSTA DE CÁLCULO PARA EFICIÊNCIA DE FORMA DA AMOSTRA	34
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
5 TIPIFICAÇÃO DE AGREGADOS DO SOLO ATRAVÉS DA ANÁLISE VISUAL DE IMAGENS	38
5.1 INTRODUÇÃO	38

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.2.1 INSPEÇÃO VISUAL E PONDERAÇÃO DOS ATRIBUTOS CONVERGENTES	39
5.2.2 SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY	43
5.2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
5.2.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE AGREGAÇÃO	45
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.3.1 RESULTADOS DA INSPEÇÃO VISUAL	46
5.3.2 BASE DE REGRAS	50
5.3.3 RESULTADOS DA TIPIFICAÇÃO DOS AGREGADOS DO SOLO	52
5.3.4 ANÁLISE DA VARIABILIDADE DAS AMOSTRAS DE SOLO	56
5.3.5 ÍNDICE DE EFICIÊNCIA NA AGREGAÇÃO	58
5.4 CONCLUSÕES	60
6 QUALIFICAÇÃO DA AGREGAÇÃO EM AMOSTRAS DE SOLO AGRÍCOLAS	61
6.1 INTRODUÇÃO	61
6.2 PROPOSTA DE ANÁLISE DE EQUILÍBRIO DE AGREGAÇÃO	62
6.3 PROPOSTA DE ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA	65
6.4 CONCLUSÕES	69
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8 CONCLUSÕES	70
9 REFERÊNCIAS	71
ANEXO 1. PROTOCOLO PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE DE AGREGADOS EM AMOSTRAS DE SOLO: PROPOSTA INICIAL	83
ANEXO 2. BASE DE REGRAS PARA FUZZYFICAÇÃO	86

1 INTRODUÇÃO

Em uma sociedade que degrada seu solo a todo instante, a engenharia ambiental precisa dar respostas urgentes e efetivas. À luz da ecologia moderna todas as atividades humanas impactam o ambiente, de maneira positiva ou negativa. O desenvolvimento da população humana promove alterações com efeitos conhecidos, mas não explicados, gerando a necessidade de estudos e aprofundamento no conhecimento da restauração. Dentre os inúmeros desafios da engenharia ambiental está o manejo físico para recuperação e a restauração da plena atividade ecológica do solo.

Em geral os danos ambientais causados pelo uso do solo influenciam diretamente a sua estrutura, que é uma condição natural das relações físicas, químicas e biológicas, influenciadas pelas variações climáticas e mais recentemente por ações antrópicas.

RABOT et al. (2018), definem estrutura do solo como um arranjo espacial em diferentes escalas de sólidos e vazios que controlam processos diversos como vida, dinâmica de nutrientes, aeração e trocas gasosas, vulnerabilidade à erosão, infiltração, armazenamento de água, decomposição e distribuição de material orgânico (ELLIOTT & COLEMAN, 1988; BOTTINELLI et al., 2015; RABOT et al., 2018).

Todo processo que envolve a construção da estrutura do solo passa invariavelmente pela agregação. De acordo com a definição clássica, a formação de agregados representa a aglomeração de partículas minerais através da ação cimentante de materiais orgânicos e minerais. (TISDALL & OADES, 1982). Os agregados do solo assumem diferentes formas e tamanhos, com a matéria orgânica também atuando na formação e organização dos espaços inter e intra-agregados, promovendo diferentes graus de porosidade, rugosidade e atividade biológica na estrutura do solo (SARKER et al., 2018).

Porém, mesmo com avanços significativos em décadas de pesquisas, observam-se dificuldades em sistematizar o que podemos chamar de diretrizes para avaliação da condição de agregação do solo. As citações bibliográficas referentes aos estudos com agregados são amplas, mas ainda pouco se discute métodos e técnicas para qualificar a condição de agregação. Nesse escopo, torna-se notória a falta de consenso sobre como avaliar a condição de agregação do solo em áreas ocupadas pelas atividades produtivas. Embora o conhecimento sobre a agregação venha

crescendo, ainda faltam estudos hábeis para caracterização a qualidade de agregação em amostras de solo.

JASTROW & MILLES (1991) afirmam que a biota do solo participa da gênese do habitat em que vivem e, como consequência ocorre inter-relações com a estrutura do solo. Para esses autores devido a diferentes resultantes entre a biota e ao desenvolvimento da estrutura do solo, os métodos de quantificação da estrutura do solo serão diferentes conforme a forma de ocorrência. A literatura recente demonstra que há um considerável acervo de conhecimento a respeito da formação e quantificação de tipos físicos de agregados. O avanço da tecnologia digital facilitou a utilização de imagens de agregados formados nas mais diferentes condições. Para JASTROW & MILLES (1991) os estudos sobre efeitos da biota na agregação começa com a separação mecânica de agregados, passa por quantificação do espaço de poros e termina com a avaliação de microambientes usando técnicas de micromorfologia do solo. Esses autores demonstram o uso de uma estrutura conceitual que pode ser acoplada ao uso de técnicas de análise fornecendo um meio para determinar a importância relativa de vários fatores bióticos no desenvolvimento da estrutura do solo.

O estudo da forma permitiu avanços no entendimento da estrutura de corpos em função do arranjo de partículas. A tecnologia ainda permitiu avançar sob aspectos da condição de superfície e da presença de estruturas biogênicas que caracterizam o agregado de solo. Avanços em métodos para modelagem de incertezas permitem analisar diferentes arranjos estruturais de partículas. Neste contexto, propõe-se o desenvolvimento de uma metodologia para entendimento dos efeitos da variabilidade como forma de qualificar a condição de agregação de amostras de solo sob a ótica da forma, da superfície e da presença de estruturas biogênicas.

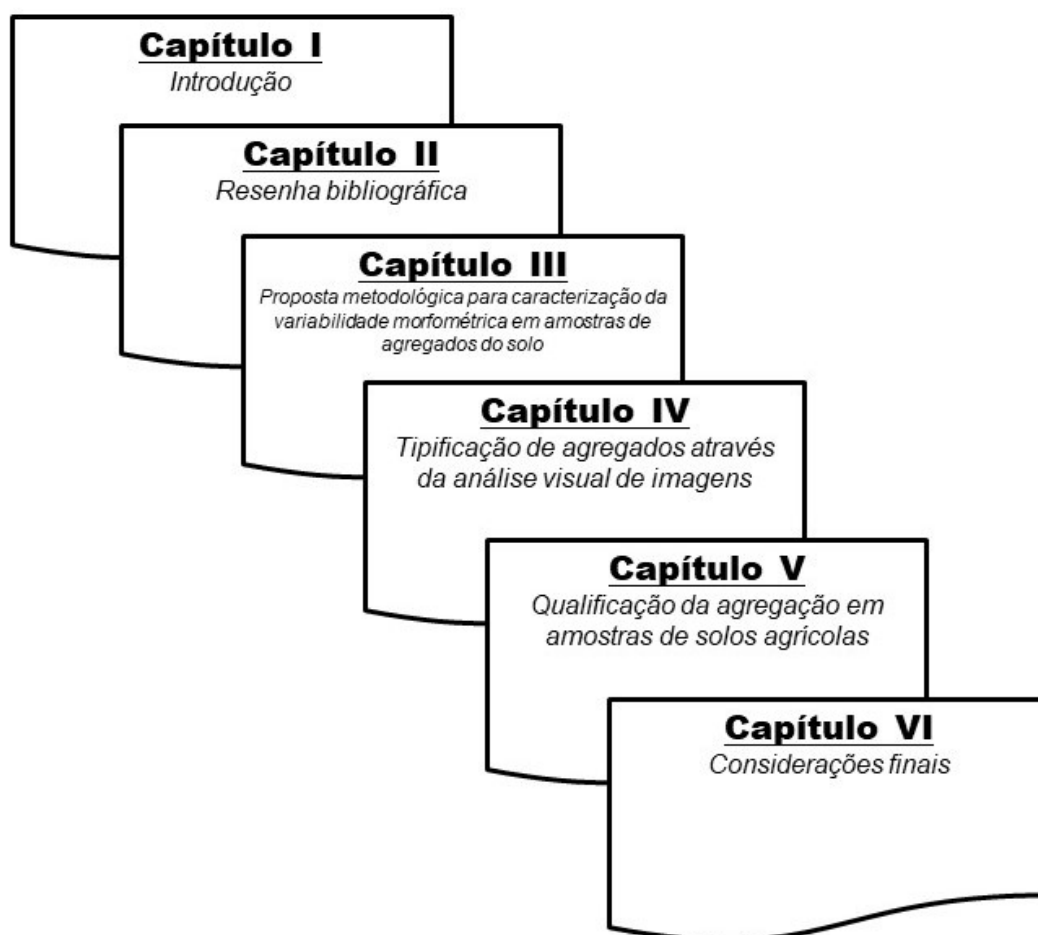
O estudo foi organizado em seis diferentes capítulos conforme a Figura 1. O capítulo I inicia com a introdução geral do problema onde são apresentados os objetivos e a hipótese da pesquisa. O capítulo II apresenta a síntese da bibliografia para tratar a base conceitual do assunto. No capítulo III apresenta-se a proposta metodológica para a análise de variabilidade, tomando uma medida morfométrica de agregados de solo para identificação da variabilidade de forma.

No capítulo IV descreve-se uma proposta de tipificação para agregados do solo, tomando-se três indicadores associados ao processo de agregação: a forma, rugosidade de superfície e presença de estruturas biogênicas. A proposta engloba a análise visual dos indicadores utilizando um conjunto de imagens digitais dos agregados e uma escala de valores Fuzzy. Um sistema de

Inferência Fuzzy (SIF) baseado na opinião de especialistas foi utilizado na integração dos indicadores, consolidando um índice de tipificação de agregado do solo.

O capítulo V apresenta um sistema para qualificação da agregação do solo, tomando a tipologia do conjunto de agregados de amostras e dois conceitos principais: a consistência de agregação e o equilíbrio da variabilidade entre agregados de diferentes dimensões em amostras tamisadas. Por fim, o último capítulo (VI) apresenta as considerações finais e as referências.

Figura 1. Organograma de apresentação dos Capítulos da Tese.



1.1 Hipóteses

- É possível caracterizar os efeitos da variabilidade de forma de agregados em amostras de solo agrícola por meio de medidas morfométricas.
- Somente a análise da variabilidade de forma não representa o estado de agregação do solo.
- Com o auxílio da Lógica Fuzzy é possível transformar a percepção visual da combinação de parâmetros para tipificação de agregados.
- O emprego da análise de efeitos da variabilidade pode servir como indicador prático e expedito da condição de agregação (consistência e equilíbrio).
- Os efeitos da variabilidade de agregação podem ser utilizados para avaliação e monitoramento da influência das práticas de manejo e recuperação de solos degradados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma proposta metodológica para avaliação expedita da condição de agregação de solos agrícolas.

2.2 Objetivos específicos

- Utilizar a caracterização da variabilidade de agregados como forma de avaliar a condição de agregação;
- Estabelecer critérios para análise visual da forma, rugosidade de superfície e presença de estruturas biogênicas;
- Propor um índice de tipificação de agregados através de um Sistema de Inferência Fuzzy.
- Propor um índice de eficiência de agregação baseado na tipologia de agregados;
- Realizar um estudo de caso tomando amostras de solo com e sem substância agregante;
- Utilizar a análise gráfica no diagnóstico da agregação.

3 RESENHA BIBLIOGRÁFICA

3.1 Considerações sobre a agregação do solo

O solo é formado pela combinação de estruturas líquida (água com materiais dissolvidos), gasosa (gases em diferentes proporções) e sólida (agregados, raízes, organismos macro/microscópicos vivos e material orgânico em diferentes estágios de decomposição) (MOREIRA & SIQUEIRA 2006).

Segundo MESQUITA & DIAS JÚNIOR (2013) a estrutura do solo é uma combinação de partículas primárias em unidades secundárias ou agregados. Em geral solos bem agregados conferem melhores condições para o desenvolvimento das plantas, daí a importância de se obter informações sobre os agregados do solo tais como: tamanho, forma e estabilidade.

A combinação de partículas minerais, areia, silte e argila com substâncias cimentantes sofrendo forças de aproximação produzem o que podemos denominar de agregado do solo e o conjunto de agregados, nas suas diferentes formas, tamanhos e arranjos denominam-se condição de agregação do solo e esta, forma a estrutura do solo. São os agregados do solo que basicamente estruturam o perfil, influenciando em algumas funções ecossistêmicas básicas, como é o caso da infiltração, aeração, armazenamento de água, retenção de nutrientes e desenvolvimento de raízes.

Portanto, os agregados do solo são considerados componentes condicionadores da qualidade estrutural do solo. Com a ocupação e uso das terras as atividades antrópicas passaram a interferir diretamente no processo de agregação, influenciando em cinco condições estruturais que qualificam a camada superficial do solo: aeração, armazenamento de água, permeabilidade, resistência à erosão e suporte para a biodiversidade. Há, na literatura recente, crescente ênfase no estudo do relacionamento entre distribuição do tamanho dos agregados com as práticas de manejo e preparo do solo (JASTROW et al., 1996; SIX et al., 2000; JIANG et al., 2011; DEVINE et al., 2014).

De acordo com CAPECHE (2008) uma das mais importantes características físicas do solo que tem relação direta com manejo é a estrutura sendo um resultado da agregação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) com minerais (calcário e sais) e com componentes orgânicos (húmus e matéria orgânica livre). A agregação vai originar unidades estruturais compostas denominadas de micro e macroagregados do solo. O conjunto de micro e

macroagregados, quando organizados numa forma geométrica definida, formam a estrutura do solo, ainda segundo o autor, o tamanho de uma unidade estrutural pode variar de menos de 1 mm a vários centímetros, podendo ser classificados em: muito grande, grande, médio, pequeno e muito pequeno.

Para HERNANI (2018), reunindo afirmações de muitos autores, a agregação não pode ser considerada uma reação apenas física, química ou biológica e sim, o reflexo da interação de todas essas forças atuando no solo. De acordo com esse autor, é possível considerar a agregação como um fiel indicador da saúde, estado global e da qualidade do solo.

Para COOPER (2018), um solo pode ser um conjunto de frouxas e instáveis partículas organizadas por acaso, ou pode apresentar um distinto padrão estruturado que tem uma interligação de partículas denominadas de “agregados” ou “ped” com forma e tamanho regulares. Na tipificação do perfil, podemos reconhecer solos com estrutura contínua denominados de “apédicos” e de estrutura fragmentada denominados de “pédicos”. BASTOS et al. (2005), reafirmam um fato muito conhecido de que a agregação do solo é influenciada pelos ciclos de umedecimento e secagem, bem como pela decomposição e adição de compostos orgânicos.

Na descrição dos horizontes, depois da determinação da cor, a caracterização morfológica dos agregados é feita com a manipulação de um volume de solo retirado do perfil com auxílio de uma faca. A manipulação manual da amostra vai permitir a fragmentação natural do solo e o reconhecimento das formas que os agregados vão tomando em função do processo de agregação. Normalmente os agregados possuem dimensões diversas e podem ser redondos, arredondados, angulares, prismáticos e laminares. Os agregados resultam da reunião de partículas entre si e da fissuração de conjuntos de agregados. Tal como as cores, RUELLAN & CASTRO (2017) afirmam que a presença e a morfologia dos agregados mudam vertical e lateralmente. Dentro de um horizonte, agregados de morfologias diversas podem coexistir. Cada tipo de agregado tem seu próprio significado em termos de história, de funcionamento e de fertilidade do solo.

SALTON et al (2008) observaram estreita relação entre a estabilidade dos agregados e o teor de carbono no solo e também com o teor de argila. Para esses autores a formação de macroagregados parece estar relacionada à presença de raízes, que são mais abundantes sob pastagens de gramíneas.

BOIX-FAYOS et al. (2001) estudaram a influência das propriedades do solo na condição de agregação e constataram uma correlação positiva entre teor de argila e a estabilidade da água nos microagregados, enquanto a estabilidade dos macroagregados dependia do teor de matéria orgânica acima de 5 ou 6%.

NOVARA et al. (2014), estudando agregação em áreas de vinhedos com topografia acidentada, constataram que tanto nas camadas superficiais de solo como a do subsolo, a distribuição de tamanho das partículas predomina uma redução do tamanho mais fino, principalmente nas áreas de desprendimento. Um aumento do teor de carbono orgânico foi observado devido a processos de deposição. De qualquer forma, também devemos ressaltar que, considerando os "offs agrícolas", processos de erosão estimada, o balanço de carbono resultou altamente negativo.

TRUBER (2013), estudando agregação em função de sistemas de rotação de culturas com cana de açúcar em dois tipos de solos, afirmam que manejo adequado pode causar melhorias nos parâmetros que constituem o solo, podendo reduzir níveis de degradação. Para esses autores a cultura e as formas de manejo adotadas causaram diferenças na agregação bem como no teor de gomalina e na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares.

Segundo MACHADO & FAVARETTO (2006) descrevem três características são utilizadas na designação da estrutura na classificação de solos: forma (laminar, prismática, blocos ou granular); tamanho (muito pequena, pequena, média, grande e muito grande) e grau de desenvolvimento dos agregados (grãos simples, maciça, fraca, moderada e forte). Ainda segundo esses autores além da formação de agregados, uma característica extremamente importante é a estabilidade de agregados, ou seja, como o agregado resiste à força destrutiva.

A principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação e a partir do seu efeito indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água entre outros, que são fundamentais para a capacidade produtiva dos solos. BAYER & MIELNCZUK (1999) reafirmam que a formação dos agregados, unidades básicas de estrutura do solo, é atribuída principalmente às forças físicas envolvidas no umedecimento, secamento, congelamento, descongelamento e ação de compressão pelas raízes. Ainda segundo esses autores, após a aproximação de partícula mineral, a matéria orgânica apresenta importância fundamental como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados.

Segundo PRIMAVESI (2002), chama-se de agregado todo agrupamento de partículas de solo entre 0,5 e 5,0 mm de tamanho, independentemente de sua densidade, porosidade e presença de micro vida, bem como da sua estabilidade diante da ação das chuvas.

Segundo SILVA (1999), os agregados do solo são descritos pela sua forma (arredondado, anguloso ou laminar), tamanho e grau de desenvolvimento da estrutura. Os agregados arredondados podem ter estruturas com as seguintes formas: [1] Granular: agregados pequenos, em geral menores que 1 cm e bem arredondados. [2] Grumoso: agregados pequenos ou médios, em geral menores que 2 cm e com contornos irregulares; [3] Poliédricos ou blocos sub angulares: agregados de tamanhos maiores que apresentam faces arredondadas e planas, com ângulos arredondados. Os agregados angulosos ainda podem ter estrutura com forma dividida em: [1] Poliédrica ou blocos angulares: agregados apresentam faces planas e vértices formados por ângulos; [2] Prismático: apresentam formas longas e estreitas (reticulado). A estrutura prismática ainda apresenta dois subtipos: a prismática propriamente dita e a colunar.

Segundo TROEH & THOMPSON (2007) fatores mineralógicos, químicos e biológicos estão envolvidos na estabilidade dos agregados e a importância de cada fator varia enormemente de um solo para outro. Segundo os autores cinco características são importantes na estrutura dos solos: o arranjo de partículas, aeração, permeabilidade, resistência do solo a erosão e ambiente de crescimento das plantas. A estrutura é o arranjo de partículas individuais em partículas maiores e o agregado é a unidade estrutural do solo. São grupos naturais de partículas primárias a areia, silte, argila e matéria orgânica. Quando a estrutura é granular os agregados são redondos ou arredondados, quando a estrutura é plana os agregados podem ser planos e angulares, quando a estrutura for em blocos, normalmente os agregados são angulares e sub angulares e na estrutura prismática os agregados tendem a ser prismáticos planos e angulares.

Um método comum e clássico para medir estabilidade de agregados é o peneiramento em água no qual a água representa a força destrutiva e o grau de estabilidade é medido através da proporção de solo que não desagregou. De acordo com WANG et al. (2016) a estabilidade de agregados não representa uma medida totalmente válida para determinação da agregação, uma vez que os efeitos ecossistêmicos do solo são influenciados pela composição de agentes cimentantes orgânicos. A composição textural e mineralógica também podem afetar diretamente a força de coesão de agregados, assim, o grau de estabilidade pode não refletir diretamente a

intensificação dos processos ecossistêmicos, mas sim diferenças entre a condição mineralógica de dois tipos de solo (LONGO et al., 1999). Nesse sentido, abordagens envolvendo a análise visual individualizada de agregados têm se mostrado promissoras, pois a verificação do grau de desenvolvimento da agregação é realizada através da observação dos efeitos da atividade biológica diversificada em conjunto com os fatores físicos e químicos.

3.2 Considerações sobre uso de imagens digitais na avaliação de partículas

Com o desenvolvimento da automação, o uso de recursos eletrônicos para obtenção e análise de imagens torna-se cada vez mais acessível, permitindo o avanço tecnológico em diversas áreas do conhecimento. O uso de imagens na ciência do solo cresce de forma constante.

OLSZEVEZKI et al (2004) utilizaram imagens geradas por um scanner para estudar a forma e tamanho de diferentes agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico, manejado por três anos consecutivos. Para processamento das imagens utilizaram o programa de computador UTHSCSA Image Tool. Os autores obtiveram índices sobre a forma dos agregados, como: arredondamento, compacidade e alongamento. Concluíram os autores que o índice arredondamento é dependente da medida de perímetro (rugosidade externa) e os índices compacidade e alongamento são dependentes da medida do comprimento do maior eixo (arestas). Segundo esses autores de maneira geral, os sistemas de manejo não promoveram diferenças morfológicas dos agregados do Latossolo Vermelho textura argilosa para as variáveis analisadas e afirmam também que a análise de imagens mostrou-se sensível à detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo bastante promissora como uma nova ferramenta nos estudos da estrutura do solo.

PASSONI et al (2014) relatam a aplicação de imagens digitais em duas dimensões para analisar a porosidade de dois latossolos (Latosolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho) da região sudeste do Brasil. Esses autores relatam que uso de programas específicos para o tratamento e processamento de imagens possibilitou um método rápido e eficiente para quantificar o sistema poroso do solo. Segundo esses autores as imagens 2D foram obtidas usando uma câmera CCD acoplada a um microscópio óptico convencional. Após a aquisição e

tratamento das imagens, os autores processaram e analisaram os dados, usando os programas “Noesis Visilog 5.4 ®” (selecionado como programa padrão) e “ImageJ”.

Para ambos os solos, a imagem da porosidade total (%) foi obtida, bem como o número total de poros e distribuição de tamanho de poros. Os Autores concluíram que programa “ImageJ” pode ser utilizado na caracterização do espaço poroso de amostras impregnadas com resina.

Já IGATHINATHANE et al. (2008) desenvolveram um algoritmo para analisar as dimensões de grãos alimentares através de imagens utilizando o programa “ImageJ”. Os autores relatam que o algoritmo foi aplicado com sucesso produzindo uma distribuição dos dados de forma rápida e precisa e permitindo a análise da variabilidade das partículas.

RODRIGUEZ et al. (2013) apresentam uma revisão de literatura abrangente sobre diferentes métodos e técnicas utilizadas para determinação da forma geométrica das partículas. Segundo os autores, a forma da partícula poderia ser classificada em três categorias:

- a) Esfericidade: a forma geral da partícula a semelhança com uma esfera.
- b) O arredondamento: a descrição dos cantos das partículas e rugosidade.
- c) A textura superficial da partícula.

Todas as categorias dependem da escala da esfericidade que pode ser tomada como referência, enquanto que a menor escala pertence à rugosidade. Para os autores a visão geral da resenha mostrou que não há acordo sobre o uso dos descritores e não está claro qual descritor é o melhor.

MARTINEZ et al.(2015) utilizaram imagens 3D de agregados obtidas com o auxílio de um equipamento de raios-X e de modelos matemáticos para fornecer uma descrição quantitativa e exaustiva da morfologia do agregado do solo incluindo o espaço de poro intra-agregado, o arranjo de partículas e a características da superfície agregada. Esses autores conseguiram determinar a estrutura interna de agregados em duas condições de manejo e conseguiram demonstrar a utilidade da ferramenta para distinguir diferentes padrões de organização de agregados.

ERDOGAN et al. (2006) utilizaram a tomografia computadorizada para gerar uma imagem de partículas agregadas em 3D a serem utilizadas na construção civil. Os autores afirmaram que, a forma dos agregados é importante e ajuda a determinar muitas propriedades do

concreto, especialmente a reologia de propriedades mecânicas de concreto fresco. O estudo discute a preparação de amostras e técnicas de análise de imagem necessárias para uso do raios-X. Ainda, esses autores apresentam uma Modelagem de Realidade Virtual, onde é demonstrada a possibilidade de visualização em 3D de agregados de uma forma rápida e precisa.

Diante dos fatos atuais as tecnologias para estudo de imagens deverão rapidamente compor análises laboratoriais de propriedades físicas do solo. No presente estudo fica evidente que com auxílio da tecnologia de imageamento digital acrescenta novos procedimentos para avaliar e analisar a condição de agegação em amostras de solo agrícola.

3.3 Tipificação aplicada a estudos de caracterização

Tipologia é a ciência que estuda os tipos, diferença intuitiva e conceitual de formas como modelo ou básicas. A tipologia é muito usada na área de estudos sistemáticos, para definir diferentes categorias. Para ALBUQUERQUE (2012) a tipologia de diferentes documentos que é produzida tem como objetivo comprovar, lembrar, testemunhar fatos e dados e também permitir refletir condições específicas, agrupadas em características e contradições que apresentam uma identificação própria.

Este é um termo que pode abranger várias áreas, porque diferentes áreas da ciência necessitam de métodos de categorização. Tipologia pode estar relacionada com tipografia, teologia, arquitetura, arqueologia, psicologia, entre várias outras ciências.

A abordagem tipológica vem disseminada pela pedologia, que utiliza o termo para caracterizar diferentes formas de apresentação de estudos e classificações de solos e seus componentes. Para KEBENEY (2015) o tipo de solo determina sua característica pedológica. ESPINDOLA (2008) utiliza o termo tipo em diversos pontos da sua “Retrospectiva Crítica sobre a Pedologia”. Em 1941 o eminente pesquisador científico José Setzer, publica na *Bragantia*, revista do Instituto Agrônomo de Campinas, “As características dos principais tipos de solos do Estado de São Paulo” (SETZER, 1941). A tipologia de elementos relacionados com a ciência do solo é também utilizada por diversos autores. Segundo GROHMANN (1972), na descrição de perfis de solo tem-se uma tentativa de caracterização das partículas primárias, bem como a forma de como elas agrupam-se em unidades compostas denominadas agregados, elementos estruturais ou unidades estruturais.

BONI et al. (1987), estudaram densidade, arredondamento e esfericidade de agregados com a intenção de avaliar a qualidade de estrutura do solo. De acordo com SANTOS et al (2005), a chamada estrutura do solo refere-se ao padrão de arranjo das partículas primárias (areia, silte, argila) em unidades estruturais denominadas agregados. Para esses autores a forma da unidade (grãos, cubos, prismas, placas) dá o seu tipo, e a estrutura normalmente encontrada nos solos podem ser tipificadas como: laminar, prismática, colunar, bloco angulares, bloco sub angulares e angular, FERREIRA (2010), ressalta que o tipo de estrutura particular de determinado solo é consequência dos processos gerais de desenvolvimento, assim segundo esse

autor os fatores de formação do solo – material de origem, clima, tempo, organismos e relevo, podem todos influenciar o aparecimento e tipificação de determinada estrutura.

Segundo BELLOTTO (2002) o objeto da tipologia é estudar componentes de conjuntos, como integrante da mesma natureza. Nesse sentido, o conjunto homogêneo de características está expresso em estruturas semelhantes, com padrões de vigência. Para esse autor a tipologia dá uma relevância ao conjunto orgânico no qual a análise se situa, representando melhor uma espécie de classificação de acordo com a atividade que a gerou.

RODRÍGUEZ et al. (2017) utilizaram da caracterização qualitativa de aspectos como a sociodemografia, meio ambiente, economia e agricultura para tipificar produtores de café da região de Medellín – Colômbia, concluíram sob vários aspectos entre eles a tipificação mostrou que 47% dos cafeicultores recorrem aos sistemas tradicionais, 38% utilizam sistemas mistos em transição e 15% adotam sistemas orgânicos.

LÓPEZ & GAYARRE (2009), estudando agregação em concreto de material reciclável tipificou os agregados e analisou vários parâmetros relacionando-os com suas propriedades; concluíram que o tipo de agregado e a porcentagem de composição foram os únicos fatores que mostraram uma influência clara na maioria das propriedades.

Ainda conforme BELLOTTO (2002), para que se chegue à compreensão das análises tipológicas é preciso que se reiterem as conceituações essenciais desde sua raiz, isto é, da informação para classificação, avaliação e descrição de componentes agrupados ou semelhantes que expressam melhor a condição de ocorrência, e da ocorrência ao tipo. Para esse autor, os princípios fundamentais dos estudos tipológicos. São eles: [1] o da **proveniência**: é a marca de identidade do componente relativamente a sua origem. O seu referencial básico, deve manter sua individualidade, não sendo misturados aos de origem diversa; [2] o da **unicidade**: é a ligação do produto com o processo de formação, a despeito da forma, espécie ou tipo, conservam caráter único em função de seu contexto de origem não podendo, em qualquer hipótese, haver outro que lhe seja idêntico em propósito pontual; [3] o da **organicidade**: é a condição de formação. As relações orgânicas refletindo na sua organização e no interior dos conjuntos. Em outras palavras, a organicidade é a “qualidade organizacional” segundo a qual os elementos refletem a sua estrutura, funções e atividades da formação em suas relações internas e externas; [4] o da **indivisibilidade**, é a sua integridade de configuração e especificidade de atuação. Fora do seu meio de formação, o componente ou grupo perde o significado.

O emprego da Tipologia se mostra vantajoso nos vários segmentos da ciência organizacional, tais como: [1] na classificação/arranjo, por facilitar o entendimento da composição de conjuntos; [2] na descrição, esclarecendo que os conteúdos veiculados em determinado formato têm certos dados que são fixos e outros variáveis, e que este conteúdo liga-se de forma obrigatória à espécie que o veicula; [3] no serviço aos usuários, pois a identificação dos tipos traz informações antecedentes e exteriores ao próprio conteúdo em análise, e são fundamentais para a compreensão do processo de produção ou causa de origem; [4] na avaliação, porque as valorizações e especificações partem da identificação das funções refletidas nas composições que se quer avaliar para estabelecer o destino dos elementos analisados.

Para MOTTA & SCOPEL (2017) a tipologia, quando aplicada em estudos de arquitetura, faz-se referência a um tipo de construção, espaço livre ou de um componente do espaço livre, investigando suas variações, hierarquias e sua relação com o contexto urbano, período histórico e a sociedade que o produziu. São analisados os tipos edificatórios que não abrangem apenas os edifícios, mas os muros, as ruas, os pátios, os jardins, além de outros elementos morfológicos. É importante salientar ainda que na arquitetura a tipologia é trabalhada com a escala do edifício ou do elemento selecionado.

De acordo com esses autores, o tipo se configura como um esquema deduzido através de um processo de redução de um conjunto de variantes formais a uma forma-base comum, que deve ser entendida como princípio que implica na possibilidade de infinitas variantes formais. Assim, MOTTA & SCOPEL (2017) ainda explicam que, devido à grande possibilidade de variação formal existente na exploração de cada tipo, individualmente, e do repertório tipológico, viabiliza-se uma diversidade de resultados e um incentivo à criatividade dos projetistas. Neste contexto analisando as combinações de forma superfície e biogênese é possível tipificar agregados num universo equivalente aos tipos de forma de superfície e de biogênese.

VAN BELKUM et al. (2007) apresentam um conjunto de diretrizes para tipificação fenotípica e genotípica de bactérias clinicamente relevantes de acordo com métodos para estudos de tipificação em epidemiologia em função seus princípios, vantagens e desvantagens. DIÓGENES (2010) utilizou da análise tipológica de elementos e sistemas construtivos pré-moldados de concreto para estudar a sensibilidade às vibrações em construções civis.

3.4 Modelagem com Lógica Fuzzy

O conceito de Lógica Fuzzy representa uma extensão da Lógica Clássica de Conjuntos. Na Lógica Clássica um elemento pode pertencer ou não a um determinado conjunto, enquanto que na Lógica Fuzzy há a possibilidade de pertencimento a diversos conjuntos distintos, sendo seu grau de associação mensurado através de uma função de pertinência Fuzzy (KAUFMANN et al., 2009).

A Lógica Fuzzy, na verdade Teoria dos Conjuntos Fuzzy, permite que se atribua graus de pertencimento de um elemento a um conjunto. Um conjunto Fuzzy, que expressa o relacionamento entre um elemento e seus atributos, é determinado por um par ordenado de objetos X e sua função de pertinência A (Equação 1).

$$A = \{x, \mu_A(x)\} | x \in X \quad \text{Equação 1}$$

Onde, $X = \{x\}$ é o conjunto universo de elementos e $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência do elemento x em A .

A função de pertinência $\mu_A(x)$ tem a sua imagem representada no intervalo contínuo de valores $[0,1]$. Quando $\mu_A(x) = 0$ o elemento x não pertence ao conjunto A . Quando $0 < \mu_A(x) < 1$ o elemento x está parcialmente contido no conjunto A e quando $\mu_A(x) = 1$ o elemento x pertence totalmente ao conjunto A .

Dessa maneira na Lógica Fuzzy um determinado elemento é relacionado a um grau de pertencimento com os atributos, diferentemente da lógica booleana, onde há apenas a consideração de pertencente ou não. Essa forma de relacionamento admite que as funções de pertinência modelem variáveis definidas por meio de regras de inferência Fuzzy (SE – ENTÃO), permite a modelagem de processos complexos e não lineares, como o raciocínio humano.

Os processos de interação das funções de pertinência são denominados Sistemas de Inferência Fuzzy, onde bases de regras são empregadas na modelagem das interações entre entradas e saídas. Quatro são as etapas principais: a fuzzificação; a construção da base de regras;

a inferência; e a defuzzificação. Geralmente um estado ou condição tem suas saídas associadas a uma avaliação (SHAW & SIMÕES, 2001).

A etapa de fuzzificação é composta pela modelagem das variáveis em conjuntos Fuzzy, proposição de termos linguísticos e funções, com seus respectivos domínios. Os conjuntos de entrada representam os critérios de interesse para avaliar o fenômeno estudado. Já as saídas equivalem ao diagnóstico obtido seguindo os critérios de interesse (FRANÇA et al., 2014).

Os atributos que compõe os conjuntos de entrada devem ter uma significativa influência sob o problema em investigação, de preferência com definição clara de padrões e métricas para a transformação das variáveis linguísticas em valores numéricos (PECHE & RODRIGUEZ, 2012).

Em KAUFMANN et al. (2009) um exemplo é demonstrado, com a formulação dos atributos de entrada. A resistência mecânica à penetração foi estabelecida como um atributo de interesse no desenvolvimento de um índice de qualidade física do solo. Variáveis linguísticas foram definidas as condições de desenvolvimento radicular, com atribuição das semânticas: inibidora, limitante e ótima. Posteriormente definiram-se os valores associados à pertinência máxima (certeza máxima) em cada classe de resistência mecânica à penetração, na amplitude de valores (0 à 10Mpa). Esse conjunto de informações foi utilizado na definição das funções de pertinência para o atributo em questão, com modelagem da incerteza existente na classificação dos valores intermediários entre as condições estabelecidas.

Uma Etapa central do desenvolvimento de Sistemas de inferência Fuzzy é a construção da base de regras, uma vez que através dela a inteligência é incorporada ao sistema. Em sistemas baseados na opinião de especialistas, como o adotado no presente estudo, a base de regras é definida a partir da integração de saberes de especialistas que possuem familiaridade com o fenômeno que se pretende modelar, associando todos os possíveis relacionamentos entre as entradas com as saídas esperadas.

O relacionamento entre os conjuntos Fuzzy no sistema de inferência é modelado por meio dos conectivos lógicos t-norma e t-conorma. Um dos métodos mais conhecidos e que está sendo utilizado nesse trabalho é o método de Mandani (BARROS & BASSANEZI, 2006). Os conectivos lógicos t-norma e t-conorma representam extensões das operações lógicas clássicas E e OU, sendo $t\text{-norma}^{\wedge}(\text{mínimo})$ a aplicação da operação lógica E e $t\text{-conorma}^{\vee}(\text{máximo})$ a operação OU. Por fim, na etapa de defuzzificação o resultado das operações lógicas é

transformado em um valor numérico real (*crisp*), através de um método de defuzzificação como o do centro de gravidade.

3.5 Métodos estatísticos para estudo da variabilidade

3.5.1 A variabilidade como ferramenta para a gestão da qualidade de agregação

A variabilidade é medida que os pontos de dados em uma distribuição estatística, ou conjunto de dados, divergem do valor médio, ou mediano, bem como a medida que esses pontos de dados diferem um do outro. Com relação ao comportamento variável da agregação o entendimento que propomos pode didaticamente, ser dividido em três fases: variabilidade de agregação natural, variabilidade de agregação (analítica) e variabilidade de agregação manejada.

A variabilidade de agregação de referência consiste no entendimento do comportamento dos agregados nas condições naturais, ou seja, nas condições de referência. Engloba todas as características de forma, superfície e biogênese que precedem o início das intervenções de manejo. A análise da variabilidade de agregação natural vai permitir compreender como o solo responde ao processo de agregação nas condições naturais. Já a variabilidade de agregação analítica consiste no entendimento do comportamento dos agregados nas condições atuais, ou seja, nas condições em que o solo se encontra no momento da análise. Por fim, a variabilidade de agregação manejada consiste no entendimento de como o manejo interferiu no comportamento dos agregados após as ações de manejo.

Um plano de manejo com base na variabilidade de agregação inicia-se com o estabelecimento das condições de referência e continua numa segunda etapa que caracteriza as condições reais (atuais), encerrando quando a determinação analítica gera um resultado da intervenção de manejo. Os tipos de agregados presentes no solo apresentam uma flutuação constante de seus níveis e as fontes de variação podem assim caracterizadas:

1.Variabilidade natural: estas variações afetam a interpretação dos analitos de uso diagnóstico. Os principais fatores naturais que influenciam na magnitude da variação dos agregados podem ser classificados em três grupos: minerais, agentes cimentantes e biogênese.

2.Variabilidade negativa: estas variações afetam as condições naturais pelo impacto que provoca a desagregação e geração de muitos finos.

3. Variabilidade positiva: estas variações afetam as condições naturais pelo impacto que provoca a agregação e diminuição de muitos finos.

Os resultados laboratoriais influenciam grande parte das decisões agronômicas e, portanto, podem afetar o diagnóstico e/ou o plano de manejo. Identificar e quantificar as fontes de variabilidade pode garantir a continuidade do processo de agregação positiva, tão importante para manter as condições produtivas do solo. As variáveis de agregação natural devem ser controladas de forma a preservar a representatividade e a integridade do processo de agregação. Portanto, as diretrizes de procedimentos com foco no controle e minimização da desagregação é essencial para a obtenção de resultados produtivos sustentáveis. Identificar e quantificar as fontes de erro associados ao manejo de agregação é de fundamental importância, pois são baseadas nas informações reportadas nos resultados laboratoriais que o técnico responsável toma decisões que acompanham o planejamento de manejo.

A análise da variabilidade é ótima para auxiliar os gestores da qualidade agronômica na redução da variabilidade negativa da agregação. Entende-se por controle de qualidade da agregação, o processo estatístico que monitora e avalia o comportamento de agregação do solo utilizando amostras coletadas no campo de produção ou em ensaios com uso de produtos para agregação como corretivos, fertilizantes, plantas de cobertura ou de rotação.

O conhecimento de técnicas para análise da variabilidade tem no controle de qualidade industrial uma importante fonte de desenvolvimento. Com o advento do movimento da qualidade total houve uma revolução na forma de administrar empresas que usavam a teoria de Taylor como norteadora da condução produtiva. A essência da melhoria contínua, pregada pelo movimento da qualidade total tem nos estudos de variabilidade sua ênfase maior. A base do controle de qualidade da produção se dá na busca de variações ocorrentes no processo de fabricação.

3.5.2 *A análise gráfica ou análise técnica do comportamento de dados*

IDOETA (2009) cita vários autores para definir o conceito e os objetivos da análise gráfica. A melhor definição para aplicação nos estudos de agregação é aquela que afirma tratar-se de uma arte, que procura interpretar o comportamento atual do conjunto de dados e tenta identificar quais são, ou quais serão as tendências (forças) predominantes. De acordo com o autor podemos dizer que a análise gráfica estuda a evolução dos dados ao longo do tempo relacionando informações relevantes que possam justificar o comportamento gráfico.

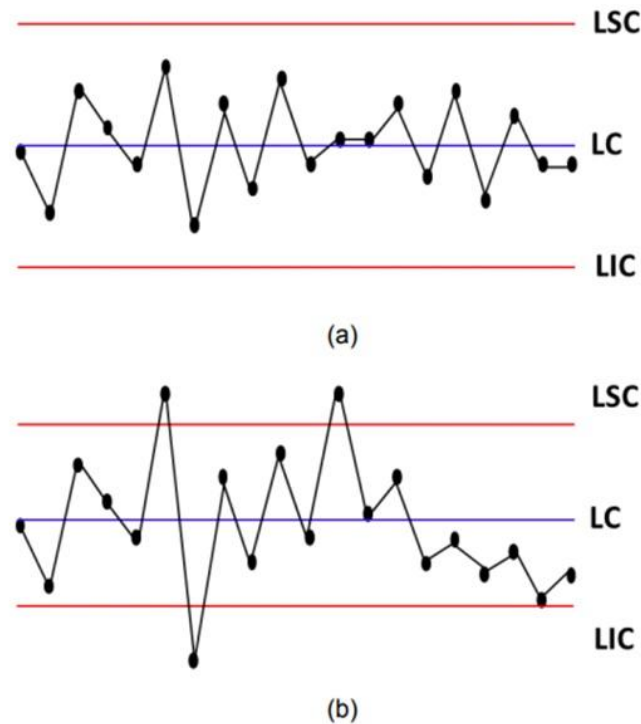
BELMONT (2010) utilizou um método de análise gráfica denominado Ondas de Elliott para explicar as oscilações de preços dos ativos, commodities e avaliar os índices de inflação, que caracterizam o momento do desenvolvimento econômico, procurando identificar as mudanças de comportamento do mercado. O estudo desse autor permite uma analogia com estudos de agregação, através da construção de uma base gráfica que efetivamente pode servir para associar informações contidas no conjunto de imagens que compõem uma amostra de agregados. “Ondas de agregação” poderão servir como o registro da imagem gráfica do estágio de agregação e o momento em que a amostras é qualificada.

Estudando indicadores de ambiente hospitalar característicos do Hospital Universitário de Santa Maria – RS, ZANINI et al. (2016) utilizaram análise gráfica com base em cartas de controle de qualidade. Os autores demonstraram a vantagem dos gráficos CUSUM, detectando precocemente, mudanças no processo, além de alterações de baixa magnitude. Os autores concluíram que a aplicação dos gráficos de controle foi um recurso muito eficiente, apesar das dificuldades iniciais de implementação, devido ao grande número de variáveis que podem ser controladas.

OLIVEIRA et al. (2013) apresentam um esquema para análise do comportamento da variabilidade através de cartas de controle. Fazendo uma analogia ao processo de agregação, a variabilidade pode ser estudada com base nos limites estabelecidos para cada um dos padrões de forma. Observando a Figura 2 as linhas de controle (limite superior de controle- LSC e limite inferior de controle-LIC) representam os valores que limitam a classificação de forma. Portanto, é possível utilizar a carta de controle para saber se o conjunto de agregados apresenta alta ou baixa variabilidade. Utilizando a linha que representa a média móvel é possível entender se as variações ocorrentes comprometem a qualidade da agregação. Quando a variação da linha de média móvel ocorrer totalmente dentro dos limites pode dizer que o processo de agregação está sob controle

(Figura 1a). Da mesma forma, quando a variação da linha média apresentar pontos fora das linhas separatrizes podemos afirmar que a amostra apresenta agregação fora de controle (Figura 1b).

Figura 2. Exemplo de carta de controle: (a) sob controle estatístico e (b) fora do controle estatístico.



3.6 Influência do sistema radicular das plantas no processo de agregação

Sabidamente o sistema radicular das plantas influencia o processo de agregação. Os atributos físicos do solo, basicamente a agregação e porosidade, condicionam o desenvolvimento do sistema radicular. Levando em consideração que a variabilidade influencia a estabilidade de uma estrutura, ocorre uma estreita relação entre o caráter intrínseco do solo e o sistema de manejo adotado. As áreas de produção agrícola podem acarretar diferentes tipos de comportamento físico do solo. O impacto do mau uso do solo promove a desagregação gerando a condição de compactação que provoca uma alteração na disposição espacial, no formato e dimensão de agregados e torrões, por consequência na porosidade. Em uma área com diversidade em termos

de ocupação e uso das terras, a porosidade do solo apresenta distintas unidades, facilitando ou limitando o desenvolvimento de raízes (DEFOSSEZ & RICHARD, 2002; BERTOL et al., 2004; HANZA & ANDERSON, 2005; CARVALHO et al., 2006; CHEN & WEIL, 2011).

Estudando relações entre a produção de feijão e a condição estrutural do solo MEGDA et al. (2008) encontraram correlação significativa entre a produtividade de grãos de feijão com a condição estrutural. Já ROQUE et al. (2008) encontraram uma correlação entre a resistência do solo à penetração e a produtividade do feijoeiro. A resistência do solo à penetração de 2,0 Mpa, apresentou baixa correlação com a produtividade. A variabilidade foi condicionada pelo efeito antrópico do manejo do solo na condição estrutural do solo, ocorrendo de forma diferenciada, mesmo em áreas aparentemente homogêneas, formando diferentes ambientes de produção agrícola. Para CORRÊA et al. (2009) a relação entre atributos do solo e a produtividade do trigo depende da distribuição espacial do teor de água, porosidade e resistência do solo à penetração.

A dificuldade de diagnosticar a influência negativa da desestruturação gerando compactação e resistência ao desenvolvimento radicular é decorrente das várias formas de difusão do processo de agregação. A condição de agregação do solo que gera resistência à penetração pode estar relacionada com fatores naturais de adensamento, bem como por força de ações antrópicas.

O impacto da energia cinética causada pelas gotas da chuva ao entrar em contato com o solo é visto por BIELDERS & GRYPONPREZ (2010) como o principal agente potencializador da desagregação e mobilização de partículas no solo na região da superfície. Estes autores investigaram a contribuição do impacto das gotas de chuva na eluviação de silte e argila no solo. Seus resultados demonstraram que a interação entre o estado de agregação, teor de água inicial e o impacto da gota, apontam a exposição do solo às chuvas torrenciais como principal causa da mobilização da massa do solo.

HAIRSINE & ROSE (1991) propuseram um modelo, revisado por LEGOUT et al. (2005), em que três processos foram considerados na ocorrência de escoamento superficial, são eles: (I) desagregação, (II) arraste de partículas e (III) reorientação de sedimentos. O desprendimento é causado pelo impacto das gotas de chuva. A Figura 3 representa o diagrama que explica o caso fase a fase.

Figura 3. Esquema teórico da desagregação, transporte e sedimentação. Adaptado de LEGOUT (2005) apud CASTIONI (2013).



O conteúdo da matéria orgânica de baixa densidade é extraído pelo processo de desagregação da camada superficial. O escoamento enriquece o material erodido que é redistribuído ao longo do perfil, ou depositado em depressões superficiais (POLYAKOV & LAL, 2005). A visualização e demarcação de extratos de manejo regionalizado podem ser obtidas através da distribuição de agregados superficiais. Portanto, de acordo com CASTIONI (2013) a estratificação de diferentes posições de relevo representa uma técnica eficaz para o mapeamento de manejo.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE MORFOMÉTRICA EM AMOSTRAS DE AGREGADOS DO SOLO

4.1 Introdução

O entendimento da relação entre a forma de agregados e a qualidade do solo tem adquirido maior evidência na comunidade científica. Estudos recentes têm associado um intrínseco relacionamento entre a diversidade de formas de agregados e características influenciadores da qualidade física, química e biológica do solo (PETH et al., 2008; GARBOUT et al., 2013; MUNKHOLM, et al., 2016).

Em linhas gerais, a análise de imagens digitais e medidas matemáticas convencionais vêm sendo utilizadas para qualificar a forma de agregados, com ênfase no estudo da estruturação do solo (WHALLEY et al., 2005; MARTÍNEZ et al., 2015), inclusive associando práticas de manejo com a heterogeneidade de poros existentes em intragrupos de agregados (KRAVCHENKO et al., 2011).

O grau de arredondamento e rugosidade de superfície dos agregados do solo foi elencado como indicadores de qualidade no processo de agregação (DEXTER, 1985; HOLDEN, 1995; PERFECT et al., 1997). Porém, a necessidade de novos estudos para quantificação dos efeitos da forma na agregação e na qualidade estrutural do solo tem adquirido notoriedade na literatura recente (MUNKHOLM, et al., 2016).

Neste contexto, o presente capítulo busca enriquecer o conhecimento a respeito da variabilidade de forma e a carência de propostas de análise sistematizadas para esse tema. Assim, com o uso de medidas de diâmetro de Feret foi possível avaliar o comportamento da variabilidade de forma em amostras de solo. O comportamento da variabilidade, pode também, ser entendido como um fator de tipificação para a classificação do processo de agregação.

4.2 Desenvolvimento da proposta metodológica

4.2.1 Considerações sobre o plano de amostragem

Para coleta de uma amostra representativa é necessário o estabelecimento de um plano de amostragem compatível com os objetivos do estudo. No caso da metodologia proposta, recomenda-se a elaboração de uma estratificação da vertente com a análise visual da paisagem, identificando as principais formas de cobertura de solo, e, se possível, verificação das peculiaridades de manejo de cada uma. De posse do mapa pedológico, o mesmo deverá servir como referência de coleta. Como forma de orientação propõe-se a abordagem desenvolvida por PECHE FILHO et al. (2014), com avaliação da paisagem local e identificação preliminar do estado de degradação, ou estado de conservação do solo pela sua cobertura e uso.

Em termos de procedimento de amostragem, recomendam-se abordagens pontuais, espacial, com ou sem a necessidade de verificação de diferenças entre tratamentos. De uma maneira geral podem ser adotados os procedimentos de delineamento e amostragem definidos em (BOLFARINE, 2005).

4.2.2 Estudo de caso

Para o desenvolvimento da proposta e validação do método realizou-se um estudo de caso tomando amostras de Latossolo Vermelho de textura média em uma área comercial de produção de grãos na Fazenda Akangu'su, no município de Ventania, Paraná. Foram selecionados dois locais, com tratamentos distintos do mesmo solo, um com e outro sem biofertilizante agregante, comercializado sob a patente Microgeo®. Os agregados das amostras de solo foram obtidos pelo Método por Via Seca seguindo as recomendações da EMBRAPA (1997).

Foram coletados 400 agregados por peneira, de maneira a possibilitar o quarteamento em amostras com 100 agregados. O número de 100 agregados foi estabelecido por proporcionar uma análise descritiva confiável e melhor representatividade gráfica. A Tabela 1 mostra a descrição dos tratamentos empregados no estudo.

Tabela 1. Códigos das amostras e descrição das características de tratamento.

Código da amostra [#]	Tratamento	Peneira utilizada
C27	Com agregante	4 -5 mm
C36	Com agregante	3-4 mm
C35	Com agregante	2-3 mm
C24	Com agregante	1-2 mm
C13	Com agregante	0,5-1 mm
S37	Sem agregante	4 -5 mm
S36	Sem agregante	3-4 mm
S35	Sem agregante	2-3 mm
S54	Sem agregante	1-2 mm
S33	Sem agregante	0,5-1 mm

*As amostras *SXX* correspondem às sem agregante e as amostras *CXX* com agregante.

#Os números da dezena representam a repetição da amostra e o número da unidade o código de peneira.

Em sequência, os agregados foram fotografados utilizando um microscópio digital, Dino Lite, modelo AM211. O banco de imagens foi aberto no programa ImageJ, corrigidas a sua escala de pixels para milímetros e em seguida transformadas do espaço de cores RGB para o espaço YQ1Q2. A separação entre o fundo e a partícula na imagem foi feita através de um processo chamado binarização, para tanto se utiliza o canal "Q2".

Os descritores determinados foram Área, Diâmetro Máximo e Mínimo de Feret, Aspecto de Raio, Circularidade, Arredondamento e solidez. Estes parâmetros foram colocados juntamente com o nome das imagens em uma tabela digital.

Para estudo da variabilidade de forma, optou-se em utilizar as medidas Feret, Equação (2). Essas medidas são comumente utilizadas para o estudo de partículas irregulares, pois representam o diâmetro que cruza o centro de determinado objeto tomando alguma direção arbitrária (WANG et al., 2014). Em geral, a determinação do Feret é realizada a cada 10°, totalizando 36 medidas. Optou-se apenas pela utilização da relação entre o maior e menor diâmetro, de maneira a verificar o grau de desvio dos agregados em relação a um círculo perfeito.

$$Dr = \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \quad (2)$$

Onde D_r é o índice que expressa a forma do agregado no intervalo entre 0 e 1. O valor 1 está associado a valores idênticos nos diâmetros do agregado, assumindo a forma de um círculo perfeito. O valor 0,5 representa uma diferença de 50% entre o menor (D_{\min}) e maior (D_{\max}) diâmetros, assumindo a forma angular; e valores próximos a 0 diferenças máximas entre os diâmetros, assumindo a forma prismática.

4.2.3 Diretrizes para análise dos dados

O conjunto de dados foram processados com base na:

- a. Análise estatística descritiva, determinando medidas de tendência central e medidas de dispersão;
- b. Análise técnica/gráfica, determinação da imagem da variabilidade ao acaso e da variabilidade hierarquizada;
- c. O uso de média móvel simples ($n=7$) para a análise de tendências na dispersão dos dados;
- d. Análise de frequência;
- e. Determinação dos índices de eficiência, consistência e equilíbrio.

4.3 Resultados

4.3.1 Análises estatísticas descritivas

A obtenção de dados descritivos tem como objetivo caracterizar numericamente a variabilidade ocorrente. MELLO (2015) utilizou a estatística descritiva para analisar dados de agregação de solo. Um comparativo das medidas de tendência central, moda, média e mediana vão indicar tendências no comportamento dos dados.

Na Tabela 2 temos as medidas descritivas da relação entre o diâmetro máximo e mínimo. Tais medidas foram selecionadas por potencialmente indicar a forma arredondada e permitir observar quando ocorrem deformações nos agregados do solo. A metodologia pode incorporar outras medidas morfométricas, sendo necessária a adequação dos intervalos de classe de arredondamento de acordo com a amplitude de variação das medidas.

O valor de referência 1 representa a forma circular perfeita. Quando a assimetria é positiva, a moda está posicionada abaixo da média, e, portanto, é possível afirmar que há uma tendência de desvio de forma na amostra. Por outro lado, quando a assimetria é negativa, a moda está posicionada acima da média, sendo possível afirmar que há uma tendência de arredondamento do conjunto de agregados. Na Tabela 2 é possível observar o comportamento da amostra que é predominado por assimetrias negativas, portanto, indicando uma tendência de arredondamento na forma dos agregados do solo.

Diferenças entre a mediana e a média, bem como as medidas dos quartis, podem indicar distorções das distribuições de frequência. Observam-se poucas diferenças entre a média e mediana e a medida do primeiro quartil (Q1) é superior à 0,6. Portanto observa-se que cerca de 75% dos dados possuem valor superior à 0,6 confirmando as tendências observadas de assimetria e com resultado convergente para um grau de arredondamento elevado da amostra.

Considerando que é possível estratificar a amplitude total em classes, em intervalos equidistantes, e atribuindo classes de forma a esses valores (0 a 0,2 - prismático; 0,2 a 0,4 - angular, 0,4 a 0,6 - sub angular, 0,6 a 0,8 - arredondado, 0,8 a 1,0 - redondo), é possível notar que as amostras de solo têm a maior parte de seus dados (75%) nas classes arredondado e redondo, bem como 25% dos dados na classe sub angular. Essa distribuição permite afirmar que o processo de agregação se encontra ativo, com consistência.

Tabela 2. Resultados da análise estatística descritiva para os parâmetros razão entre o diâmetro máximo e o diâmetro mínimo.

Parâmetro estatístico	Relação de diâmetros									
	S37	C27	S36	C36	S35	C35	S54	C34	S33	C33
<i>No. de observações</i>	114	110	114	110	114	110	114	110	114	110
<i>Valor mínimo</i>	0.45	0.26	0.44	0.48	0.44	0.39	0.36	0.44	0.40	0.35
<i>1º quartil</i>	0.67	0.63	0.70	0.67	0.68	0.62	0.66	0.59	0.58	0.64
<i>Mediana</i>	0.73	0.70	0.75	0.73	0.73	0.71	0.72	0.66	0.68	0.71
<i>Média</i>	0.74	0.71	0.76	0.74	0.73	0.71	0.73	0.67	0.69	0.72
<i>3º Quartil</i>	0.81	0.80	0.82	0.80	0.78	0.79	0.81	0.73	0.78	0.79
<i>Valor máximo</i>	0.94	0.92	0.90	0.91	0.93	0.93	0.91	0.90	0.89	0.90
<i>Amplitude</i>	0.49	0.66	0.46	0.43	0.49	0.54	0.55	0.45	0.48	0.55
<i>Variância (n-1)</i>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Desvio padrão (n-1)</i>	0.10	0.12	0.09	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.12	0.11
<i>Coefficiente de variação</i>	0.14	0.18	0.12	0.13	0.12	0.16	0.15	0.16	0.17	0.15
<i>Coefficiente de assimetria</i>	-0.58	-0.75	-0.99	-0.39	-0.58	-0.37	-0.86	-0.03	-0.19	-0.57
<i>Curtose</i>	0.08	0.61	1.32	-0.33	0.39	-0.50	0.99	-0.48	-1.10	0.29

A amplitude total explica a variabilidade de forma. Quando se tem uma elevada amplitude há uma elevada variabilidade. A amplitude ainda permite identificar a faixa de classe cujos valores têm como referência a forma do agregado. No caso da relação de diâmetros foi próxima a 0.4, portanto, as amostras empregadas nessa análise não apresentam agregados prismáticos e angulares.

O coeficiente de variação também permite perceber a condição de agregação em função a uma tendência de forma. Valores superiores a 20% podem indicar que a amostra apresenta uma agregação instável, tendendo, ou não, para os extremos (arredondados ou prismático).

O coeficiente de curtose confirma a classificação dos agregados sob influência do parâmetro médio, indicando uma estabilidade do processo de agregação, seja ele positivo ou negativo. Quando valores da curtose são positivos, a forma média representa efetivamente o estado de agregação da amostra. Quando valores são negativos, a variabilidade de forma é alta e a forma média é pouco representativa.

4.3.2 *Análise com base em cartas de controle: variabilidade ao acaso*

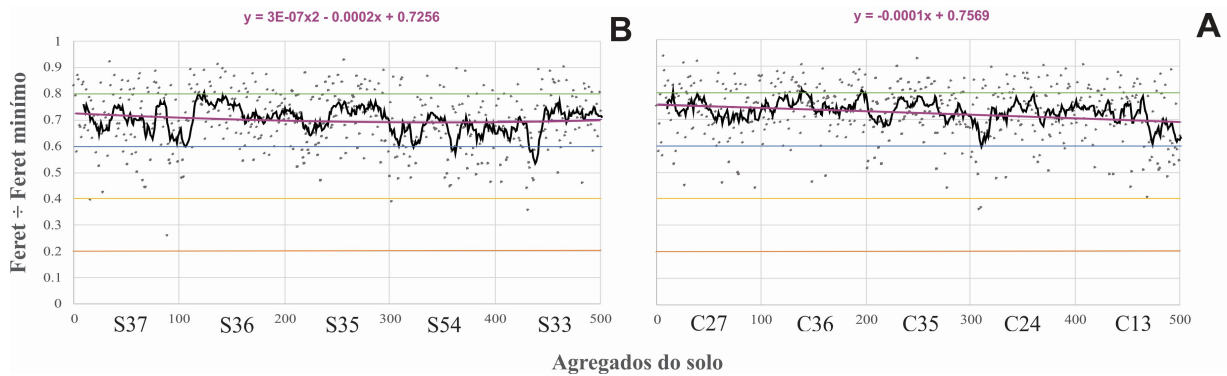
O diagrama da Figura 3 expressa a variabilidade ao acaso, uma ferramenta de análise que busca entender graficamente como ocorre a influência da variabilidade na amostra. Uma das características que facilita a legibilidade gráfica são linhas separatrizes plotadas a partir dos eixos X e Y. As separatrizes relacionadas com o eixo Y, portanto paralela ao eixo X, representam cinco classes de forma. As separatrizes relacionadas com o eixo X, portanto paralela ao eixo Y, representam os estratos retidos nas peneiras. Estas linhas seguem uma diretriz hierárquica, sendo que o arredondamento cresce de baixo para cima no eixo Y e o diâmetro cresce da direita para esquerda no eixo X.

A condição em que os resultados se apresentam permite obter uma imagem gráfica (imagem da variabilidade), possibilitando reconhecer diferenças cruciais entre condições de agregação. As imagens com picos próximos e regulares indicam baixa variação; imagens com picos distantes e alternados indicam elevada variação do conjunto de formas.

Na Figura 3 é possível destacar visualmente o comportamento da linha de média móvel representando a tendência de influência da variabilidade no processo de agregação. A forma alternada em que os picos máximos ocorrem dentro de cada peneira (Eixo X) mostra uma condição de equilíbrio da peneira. As peneiras S37, S36 e S35 apresenta uma variabilidade sob controle, entre a terceira e quarta separatriz. Nas peneiras S54e S33 a variabilidade apresenta pontos considerados especiais (variação de causa especial), indicando um certo desequilíbrio nas peneiras de menor calibre para a amostra sem agregante (Figura 3B). As peneiras C27, C36, C35, C24 e C13, que representam a amostra que contem o agregante (Figura 3A), indica um comportamento de agregação bem controlado, com tendências de picos voltados para a separatriz superior. Um processo de agregação com tendência de produzir mais estruturas arredondadas.

De uma maneira geral a análise de uma linha de tendência pode demonstrar o comportamento da agregação nos diferentes jogos de peneiras. Com base no comportamento da linha polinomial ajustada na Figura 3, podemos notar que a variabilidade ocorre de forma diferenciada nos dois tratamentos de solo. Na amostra com agregante (Figura 3A) a variabilidade exerce uma influência que conduz a uma agregação de caráter mais arredondado, sem nenhuma variação de causa especial. Na amostra sem agregante a variabilidade exerce uma influência conduzindo a agregação com caráter mais variável, apresentando algumas variações de causas especiais.

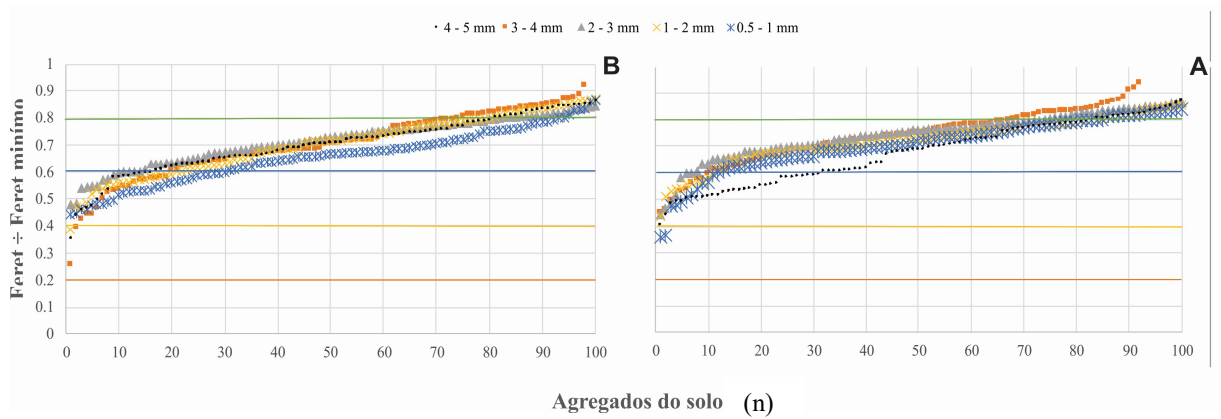
Figura 4. Carta de variabilidade ao acaso para as relações entre os diâmetros máximo e mínimo para as amostras de solo com (A) e sem (B) agregante.



4.3.3 Obtenção da carta de controle: hierarquizada

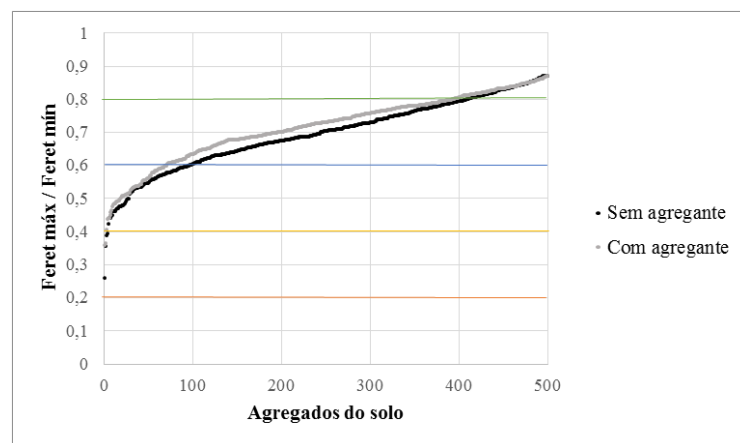
A Figura 4 mostra a imagem dos dados hierarquizados do menor para o maior. Esta imagem gráfica permite uma plotagem indicando a linha separatriz para todas as classes de formato (quatro linhas paralelas ao eixo X, classificando os cinco tipos de forma). A hierarquização vai permitir analisar um comportamento dos dados em função da concentração de classes. No caso da Figura 4, o comportamento dos dados hierarquizados apresenta uma crescente constante, concentrando grande parte dos dados acima do valor 0.4 (linha separatriz da classe sub angular). O comportamento gráfico mostra pequenas diferenças no posicionamento dos dados entre as classes. Na Figura 4A há amplitude de concentração na classe arredondado (0,6 e 0,8), de 70% da amostra (70 agregados para cada peneira). Na Figura 4B há amplitude de concentração na classe arredondado (0,6 e 0,8), de 50% da amostra (50 agregados para cada peneira). Portanto, a análise gráfica nos permite afirmar que a amostra sem agregante tem uma concentração menor de forma em torno da classe arredondada. Também, a amostra sem agregante apresenta uma concentração de dados mais uniforme.

Figura 5. Carta de dados hierarquizados por peneira para as relações entre os diâmetros máximo e mínimo para as amostras de solo com (A) e sem (B) agregante.



Na Figura 5 mostra o comportamento dos dados totais hierarquizados e a amplitude de concentração das classes. Nas duas amostras 20% dos dados (100 agregados) estão posicionados na classe sub angular (entre 0,4 e 0,6), 60% na classe arredondado (entre 0,6 e 0,8) e 20% na classe redondo (acima de 0,8). É possível notar aumento discreto na curva proveniente da amostra com agregante, no intervalo de 0,55 até 0,8, indicando que há uma concentração de dados relacionados com melhor condição de arredondamento.

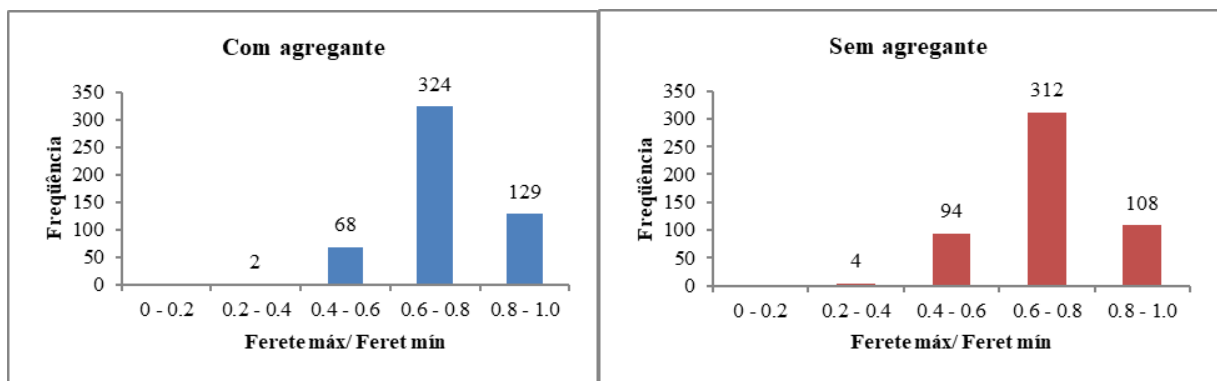
Figura 6. Carta de dados hierarquizados da amostra completa para as relações entre os diâmetros máximo e mínimo.



4.3.4 Cartas de frequência e curva normal

A análise de frequência e o estudo da normalidade dos dados geraram imagens gráficas que interpretadas podem caracterizar o processo de agregação do solo. O primeiro passo é determinar a escala de arredondamento, ou seja, o arredondamento cresce para a direita, enquanto as formas indesejáveis, vão ocorrer com tendência a esquerda. Um segundo passo é determinar se a distribuição de forma ocorre numa condição normal. No caso de não haver normalidade significa que não existe um processo de agregação em evidência. Sugere-se então normalizar os dados para estudá-los com base no comportamento da curva de Gauss. A Figura 6 mostra a distribuição de agregação para as duas condições de análise (com e sem agregante). Como há frequência de dados promovendo um deslocamento gráfico para a direita, ocorre predominância de formas arredondadas ou circulares nas duas amostras. É possível notar que a amostra com agregante de solo tem um comportamento de arredondamento um pouco maior.

Figura 7. Gráficos de frequência para a relação entre o diâmetro máximo e mínimo dos agregados do solo.

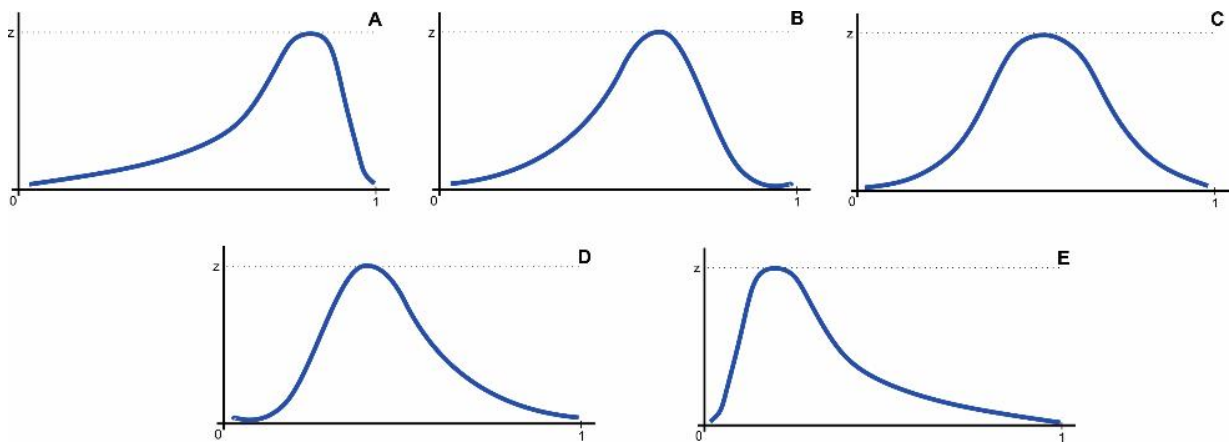


4.3.5 Obtenção da imagem relacionada com o comportamento gráfico do estado de agregação

Como abordado anteriormente à composição de formas dos agregados presentes em uma amostra pode ser representada graficamente pelo comportamento da curva normal. No caso da representação por variabilidade com o índice de Feret, é possível propor representar graficamente as cinco formas de comportamento dos dados. A Figura 7, imagem A, demonstra o comportamento do estado de agregação com tendência à forma redonda. A imagem B retrata o

comportamento com tendência a forma arredondada. Na imagem C, a tendência para a forma sub angular. A imagem D o estado de agregação tendendo a forma angular. A imagem E demonstra o comportamento do estado de agregação prismático.

Figura 8. Imagem gráfica da tendência do comportamento de forma. A) Processo de agregação redondo; B) Processo de agregação arredondado; C) Processo de agregação sub angular; D) Processo de agregação angular; E) Processo de agregação prismático/plano.



4.3.6 Proposta de cálculo para eficiência de forma da amostra

Inicialmente foram realizadas atribuições de valores aos intervalos dos quintis, ou seja, intervalos de classes de forma. Assim, de maneira a qualificar positivamente as amostras de solo com predominância de formas redondas realizou-se sua ponderação conforme a Tabela 3.

Posteriormente, os valores atribuídos às classes de forma da Tabela 3 foram multiplicados pela frequência de ocorrência na amostra. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Fatores de ponderação para as classes de forma de agregados e para os intervalos de valores da relação de diâmetros

Forma	Intervalos de valores da relação de diâmetros	Fator de ponderação
<i>Redondo</i>	<i>1 - 0,80</i>	<i>5</i>
<i>Arredondado</i>	<i>0,80 - 0,60</i>	<i>4</i>
<i>Sub-angular</i>	<i>0,60 - 0,40</i>	<i>3</i>
<i>Angular</i>	<i>0,40 - 0,20</i>	<i>2</i>
<i>Prismático</i>	<i>0,20 - 0</i>	<i>1</i>

Tabela 4. Resultados da ponderação das frequências das classes de forma.

Relação de diâmetros	Frequência	Com agregante		Sem agregante		
		Fator de ponderação	Resultado	Frequência	Resultado	
<i>Redondo</i>	<i>1 - 0,80</i>	<i>129</i>	<i>5</i>	<i>645</i>	<i>108</i>	<i>540</i>
<i>Arredondado</i>	<i>0,80 - 0,60</i>	<i>324</i>	<i>4</i>	<i>1296</i>	<i>312</i>	<i>1248</i>
<i>Sub-angular</i>	<i>0,60 - 0,40</i>	<i>68</i>	<i>3</i>	<i>204</i>	<i>94</i>	<i>282</i>
<i>Angular</i>	<i>0,40 - 0,20</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>8</i>
<i>Prismático</i>	<i>0,20 - 0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Na etapa final dos cálculos da eficiência de arredondamento da amostra foi determinada por meio do quociente dos valores obtidos com os valores uma amostra teórica, de mesmo tamanho, e onde todos os agregados apresentam forma redonda Equação (3). Para determinar valores da somatória máxima ($\sum nm_{\text{máx}}$) tem-se a multiplicação do número de agregados pelo valor máximo de forma (5), resultando em 2500 pontos. Para determinar a somatória de valores obtidos ($\sum no$) tem-se a soma dos valores das colunas “Resultado” da Tabela 4 (Amostra com agregante: $645+1296+204+4 = 2078$). (A amostra sem agregante: $540+1248+282+8 = 2149$).

$$IEF = \sum_{i=1}^n \frac{\sum no}{\sum nm_{\text{máx}}} \quad (3)$$

Onde,

- IEF representa o Índice de Eficiência de Forma;

- *no* são os valores obtidos pelo fator de ponderação;
- *nmáx* representa o valor para o fator de ponderação da classe redonda (5).

As Tabelas 5 e 6 demonstram os cálculos para determinação dos IEF.

Tabela 5. Resultados do índice de eficiência de forma para a amostra com agregante.

Relação de diâmetros	Ocorrência (%)	Com agregante			IEF (%)
		Fator de ponderação	Valores obtidos	Valores máximos	
<i>Redondo</i>	<i>1 - 0,80</i>	<i>129</i>	<i>5</i>	<i>645</i>	
<i>Arredondado</i>	<i>0,80 - 0,60</i>	<i>324</i>	<i>4</i>	<i>1296</i>	
<i>Sub-angular</i>	<i>0,60 - 0,40</i>	<i>68</i>	<i>3</i>	<i>204</i>	<i>86</i>
<i>Angular</i>	<i>0,40 - 0,20</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>10</i>
<i>Prismático</i>	<i>0,20 - 0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	

$$IEF (\text{Com agregante}) = \frac{2149}{2500} = 86\%$$

Tabela 6. Resultados do índice de eficiência de forma para a amostra sem agregante.

Relação de diâmetros	Ocorrência (%)	Sem agregante			IEF (%)
		Fator de ponderação	Valores obtidos	Valores máximos	
<i>Redondo</i>	<i>1 - 0,80</i>	<i>108</i>	<i>5</i>	<i>540</i>	
<i>Arredondado</i>	<i>0,80 - 0,60</i>	<i>312</i>	<i>4</i>	<i>1248</i>	
<i>Sub-angular</i>	<i>0,60 - 0,40</i>	<i>94</i>	<i>3</i>	<i>282</i>	<i>83,1</i>
<i>Angular</i>	<i>0,40 - 0,20</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>8</i>	<i>20</i>
<i>Prismático</i>	<i>0,20 - 0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	

$$IEF (\text{Sem agregante}) = \frac{2078}{2500} = 83,1\%$$

O Índice de Eficiência de Forma (IEF) é possível afirmar que a amostra com agregante apresenta eficiência no processo de agregação da ordem de 2,9%.

4.4 Considerações finais

A análise de variabilidade morfométrica mostra-se como potencial ferramenta para estudos sobre o comportamento da agregação em amostras de solo. Os resultados poderão auxiliar na tomada de decisão sobre técnicas a serem utilizadas como estratégia de gestão da agregação no manejo agrícola e manejo de recuperação de solos.

5 TIPIFICAÇÃO DE AGREGADOS DO SOLO ATRAVÉS DA ANÁLISE VISUAL DE IMAGENS

5.1 Introdução

Os métodos de avaliação visual estão se tornando cada vez mais populares entre os agricultores, organizações e empresas em busca de modelos de gestão adequados a valoração da condição produtiva do solo (VAN LEEUWEN et al., 2018; BALL et al., 2017). Esses métodos baseiam-se na avaliação de características observáveis que posteriormente são ponderadas, com valores atribuídos em função da sua importância relativa (VAN LEEUWEN et al., 2018).

Por representar uma forma de análise de baixo custo e expedita, a análise visual representa uma adição valiosa às análises químicas e físicas do solo para a interpretação das questões de degradação da terra (MCKENZIE, 2013). Porém, é essencial que o método seja reproduzível e as observações feitas sejam corretas, por isso, há a necessidade de que o avaliador seja devidamente treinado e padrões sejam estabelecidos.

A agregação pode ser analisada em campo, porém, necessita de diretrizes metodológicas para que técnicos sejam capacitados em utilizar o diagnóstico para fins de tomada de decisão no manejo do solo (RALISCH et al., 2017).

Como em geral estudos ambientais envolvem incertezas, os julgamentos e avaliações subjetivas de fatores relacionados aos componentes ambientais dificultam a obtenção de resultados consistentes e válidos. Assim, a associação da análise visual com sistemas de inferência Fuzzy, baseados na Lógica Fuzzy, representa um avanço para a construção de métodos mais robustos.

Esses sistemas representam ferramentas matemáticas para o tratamento de informações heterogêneas que são afetadas pela incerteza e imprecisão (PECHE & RODRIGUES, 2012). Entretanto, poucas iniciativas têm explorado a adoção dessas duas abordagens em conjunto, principalmente na avaliação da qualidade do solo (KAUFMANN et al., 2009).

Em estudos da condição agregação são ainda mais escassos, com predominância de métodos voltados para a análise da forma, empregando imagens digitais e um conjunto de medidas de processamento de imagens (MARTÍNEZ et al., 2015; WHALLEY et al., 2005; KRAVCHENKO et al., 2011).

Considerando que a agregação representa a convergência de diversos fatores, como os efeitos da atividade biológica diversificada, combinação de partículas minerais de areia, silte e argila, com substâncias cimentantes, apresenta-se uma proposta metodológica para tipificação de agregados do solo através da análise visual de imagens digitais e Lógica Fuzzy. Três indicadores da formação de agregados foram utilizados: a forma, a rugosidade de superfície e a presença de estruturas biogênicas, analisados visualmente com o apoio de uma escala de valores Fuzzy e integrados por meio de um sistema de inferência baseado na opinião de especialistas.

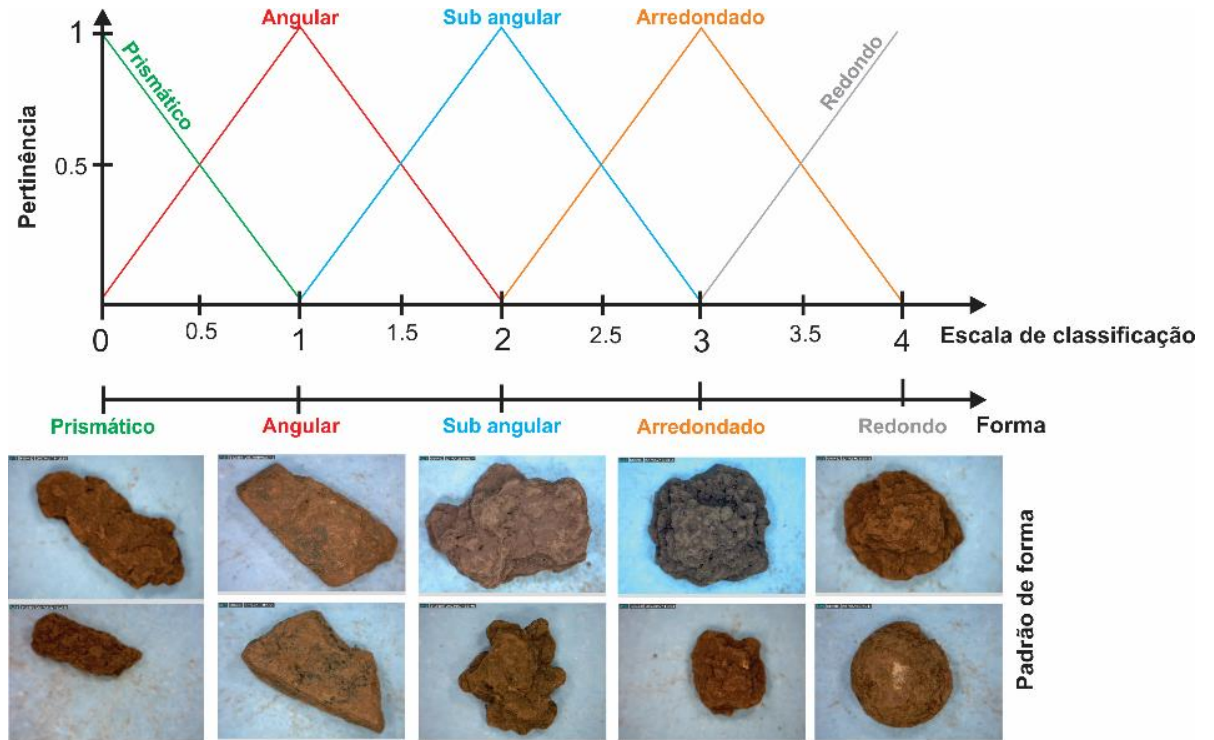
5.2 Materiais e métodos

5.2.1 Inspeção visual e ponderação dos atributos convergentes

Tomando o conjunto de imagens dos agregados, foi estabelecida uma proposta metodológica para a inspeção visual e posterior classificação do agregado quanto aos atributos convergentes de agregação do solo.

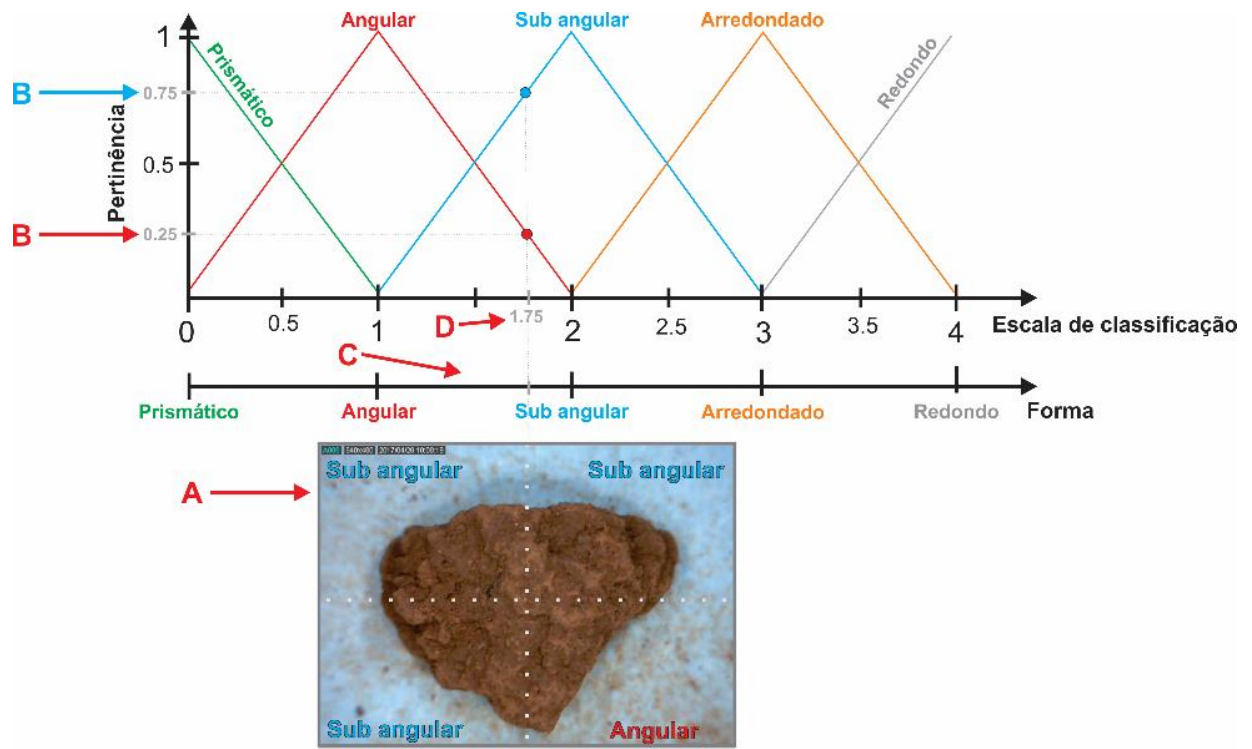
A forma foi avaliada tomando cinco padrões, relacionando seus atributos semânticos com uma escala de valores numéricos, definida conforme uma função de pertinência Fuzzy (Figura 8). Caso o agregado do solo se apresentasse totalmente definido em uma das formas preestabelecidas, com grau de certeza (ou pertinência) seria máximo, com valor atribuído corresponde a um dos valores inteiros: 0 (Prismático), 1 (Angular), 2 (Sub angular), 3 (Arredondado) ou 4 (redondo).

Figura 9. Quadro de referência utilizado para tipificação da forma dos agregados.



Porém, em caso de incerteza na forma definiu-se um procedimento de tipificação baseado em valores Fuzzy. A imagem digital foi subdividida em quadrantes (Figura 9), com a classificação da forma do agregado em cada quadrante, tomando o conjunto de padrões pré-estabelecidos (Figura 9A). No exemplo da Figura 9, como o agregado possui 3 quadrantes sub angulares e um angular, observa-se que seu pertencimento a classe sub angular é de 75%, com pertencimento a classe angular de 25% (Figura 9B). Portanto, considerando que na escala de classificação dos agregados as formas angulares e sub angular situam-se entre os valores 1 e 2 (Figura 9C), é possível classifica-lo com o valor 1,75, conforme a projeção de valores na respectiva função de pertinência (Figura 9D).

Figura 10. Critérios utilizados para avaliar a incerteza na forma dos agregados do solo.

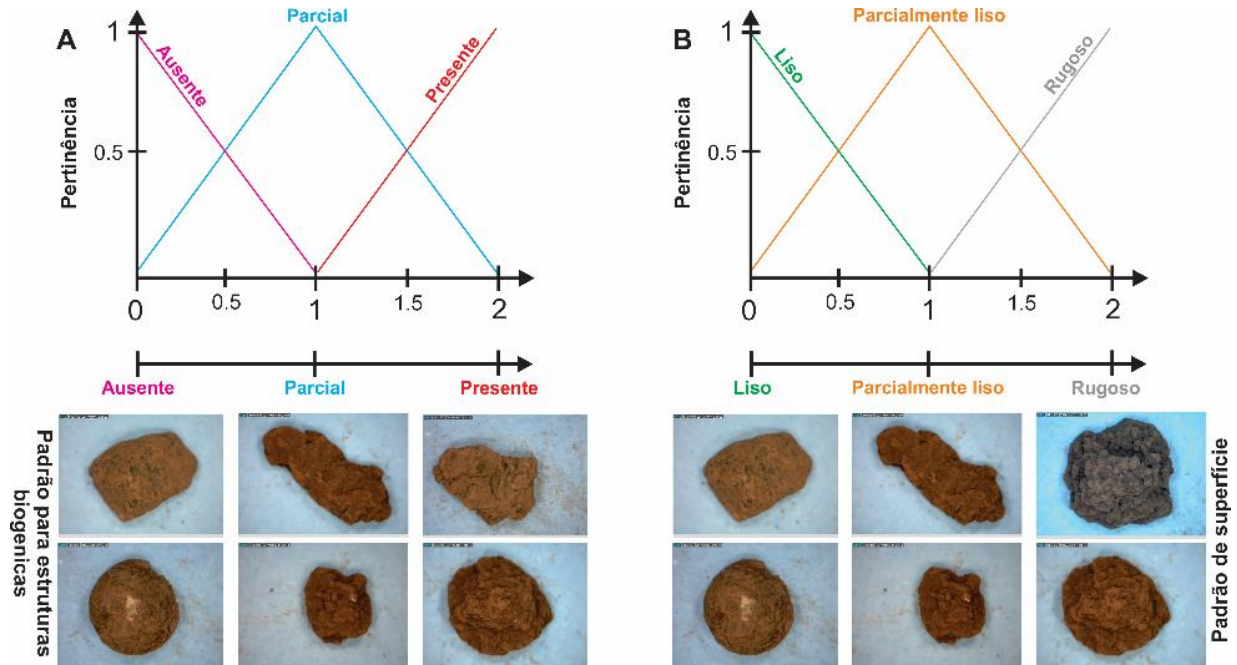


Para avaliação da presença de estruturas biogênicas foram estabelecidos três padrões, relacionando seus atributos semânticos com uma escala de valores numéricos, de maneira similar ao método empregado para avaliação da forma. Caso o agregado do solo se apresentar totalmente definido em uma das formas preestabelecidas, com grau de certeza (ou pertinência) máximo, o valor atribuído corresponde a um dos valores inteiros: 0 (Ausente), 1 (Parcial) ou 2 (Presente).

Porém, assim como a forma, há incerteza no processo de classificação, sendo possível, com a adoção da função de pertinência Fuzzy para ponderá-la (Figura 10A). O mesmo procedimento adotado para quantificação da incerteza com a avaliação de quadrantes das imagens e análise da função de pertinência foi adotado.

A Figura 11 exemplifica o processo, com a classificação de cada quadrante, conforme sua proporção ocupada por estruturas biogênicas.

Figura 11. Quadro de referência utilizado para tipificação da superfície dos agregados (A) e nível de presença de estruturas biogênicas (B).



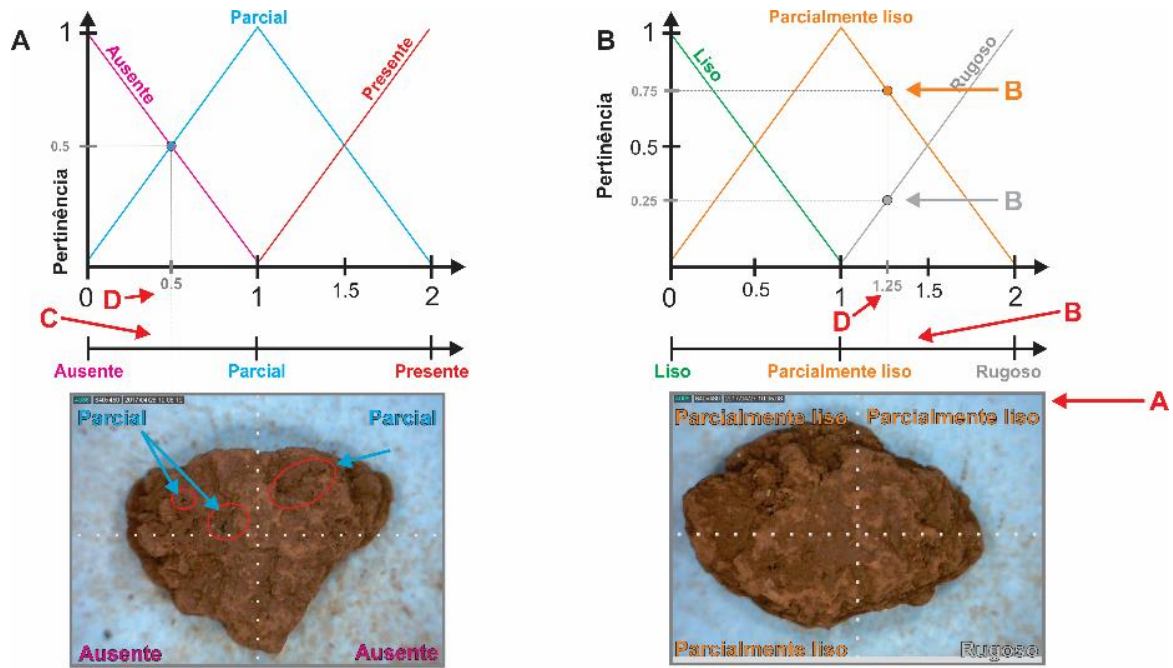
Como o agregado apresentado na Figura 11 apresenta nos quadrantes superiores apenas poucas evidências de processos associados a atividade biológica (Figura 11AA), como poros e indícios de passagem de raízes, é possível associá-los a classe “Parcial”. Caso o agregado possuísse estruturas biogênicas em uma grande extensão no quadrante, a classe “Presente” seria atribuída.

Nos quadrantes inferiores não se observa evidências de atividade biológica, portanto, atribuiu-se a classe “Ausente”. Como o agregado apresentou 50% de seus quadrantes classificados com estruturas biogênicas parciais e 50% ausentes, há uma incerteza de grau máximo entre as duas classes (Figura 11AB). Portanto, considerando que na escala de valores Fuzzy essas tipologias situam-se entre os valores 0 e 1 (Figura 11AC), é possível classificá-lo com o valor 0,5 (Figura 9AD).

A rugosidade de superfície foi avaliada tomando os mesmos procedimentos, como análise visual do agregado tomando três padrões de superfície (Figura 10B). Caso o agregado do solo apresenta-se totalmente definido em um dos padrões, com grau de certeza (ou pertinência) máxima seria atribuído, correspondendo a um dos valores inteiros: 0 (Liso), 1 (Parcialmente liso),

2 (Rugoso). Para ponderação da incerteza no processo também se utilizou uma função de pertinência Fuzzy, com procedimento similar ao dos exemplos anteriores (Figura 11B).

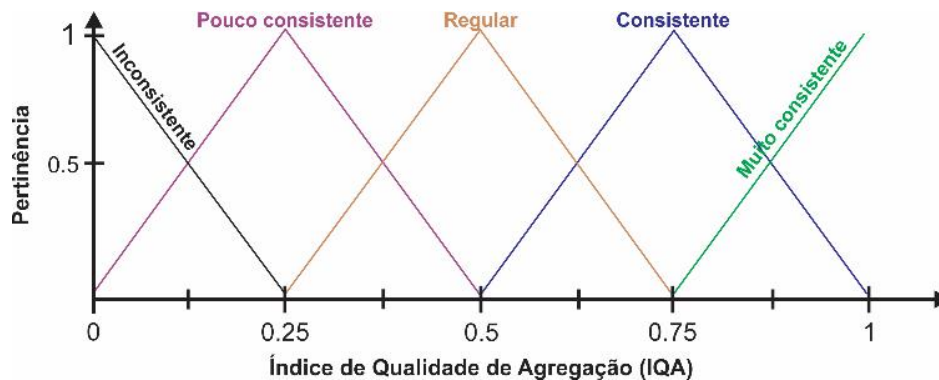
Figura 12. Critérios utilizados para avaliar a incerteza na presença de estruturas biogênicas (A) rugosidade de superfície (B) dos agregados do solo.



5.2.2 Sistema de Inferência Fuzzy

A construção do Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) foi realizada tomando as funções de pertinência estabelecidas no processo de análise visual dos agregados como atributos de entrada. Como saída um Índice de Tipificação de Agregados foi estabelecido, definido através da função de pertinência que segrega seus valores em cinco classes (Figura 12).

Figura 13. Função de pertinência empregada como saída do Sistema de Inferência Fuzzy.



A saída *Inconsistente* representa partículas predominantemente minerais do solo, com uma intensidade muito baixa de atividade biológica. A saída *Pouco consistente* denota as partículas minerais do solo em que se observa um estágio inicial de agregação, com evidências de algum processo biológico, porém, ainda com predominância de partículas minerais. A classe *Regular* representa agregados em estágio inicial de formação, onde é possível observar evidências de processos biológicos parciais, bem como parcial aglomeração de partículas do solo através da ação de agentes biológicos cimentantes. As classes *Consistente* e *Muito consistente* representam agregados em estágio pleno de desenvolvimento, onde é possível através da presença de estruturas biogênicas e rugosidade de superfície comprovar que o processo de agregação ocorreu ou vem ocorrendo, sendo a diferenciação entre essas classes dada pela intensidade dos processos envolvidos.

Para tipificação dos agregados com o sistema de inferência Fuzzy, construiu-se a base de regras com auxílio de seis especialistas em ciência do solo, do Instituto Agronômico de Campinas e Instituto de Tecnologia de Ciências Ambientais da UNESP Sorocaba. Foram determinadas todas as possíveis combinações dos termos linguísticos das variáveis de entrada e através de reuniões em grupo definidas as respectivas saídas (ANEXO II). O método de inferência Mandani foi utilizado, com defuzzificação por meio do Centro de Gravidade (Equação 4) e normalização dos valores no intervalo entre 0 e 1

$$Y = (X - a) \times \frac{1}{b - a} \quad (4)$$

Onde,

- Y é o valor normalizado; X é o valor de entrada; a representa o menor valor; b o maior valor.

5.2.3 Análises estatísticas

Os resultados foram avaliados tomando as diretrizes do Capítulo 3, através da análise estatística descritiva em cada peneira e tratamento, com cálculo da média, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e de curtose. Também, realizou-se a classificação das peneiras tomando medidas separatrizes quintis, com sua organização em histogramas e cartas de controle.

5.2.4 Cálculo do índice de eficiência de agregação

Na etapa final do método determinou-se o índice de eficiência de agregação da amostra tomando os valores obtidos nos valores no índice de tipificação de agregados, conforme as diretrizes tomadas no capítulo anterior Equação (5).

I

$$IFA = \sum_{i=1}^n \frac{\sum no}{\sum nmáx} \quad (5)$$

Onde,

- IFA representa o índice de eficiência da agregação;
- no são os valores obtidos no índice de tipificação;
- $nmáx$ representa o valor máximo para o índice de tipificação (1).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Resultados da inspeção visual

Os resultados da avaliação da forma apresentaram medidas de posição relativamente próximas (Tabela 7). Todavia, as amostras S37 (sem agregante, entre 3 e 4mm) e C24 (com agregante 1mm) apresentaram valores mais elevados para todas as medidas de posição.

Diferenças mais expressivas foram observadas nas medidas de dispersão, com a amplitude, coeficiente de variação, curtose e assimetria assumindo valores diferenciados entre as peneiras. Porém, como o coeficiente de variação manteve-se superior a 30%, não há confiabilidade na inferência tomando as medidas de quartis, sendo necessária a análise das cartas de controle (Figura 13A). Assim, identificou-se que o solo sem agregante (Figura 13Aa) apresentou um comportamento diferenciado no conjunto de peneiras. Agregados intermediários entre as formas sub angular e arredondado predominaram nas peneiras com diâmetro superior a 3mm (S37 e S36), enquanto que agregados angulares e sub angulares apresentaram-se predominantes nas peneiras de diâmetro inferior a 3mm. Nas amostras com agregante (Figura 13Ab) também se observou um comportamento diferenciado entre as peneiras, todavia com a predominância dos agregados entre a forma sub angular e arredondado.

Tabela 7. Resultados da análise estatística descritiva para a avaliação visual da forma na escala de valores Fuzzy.

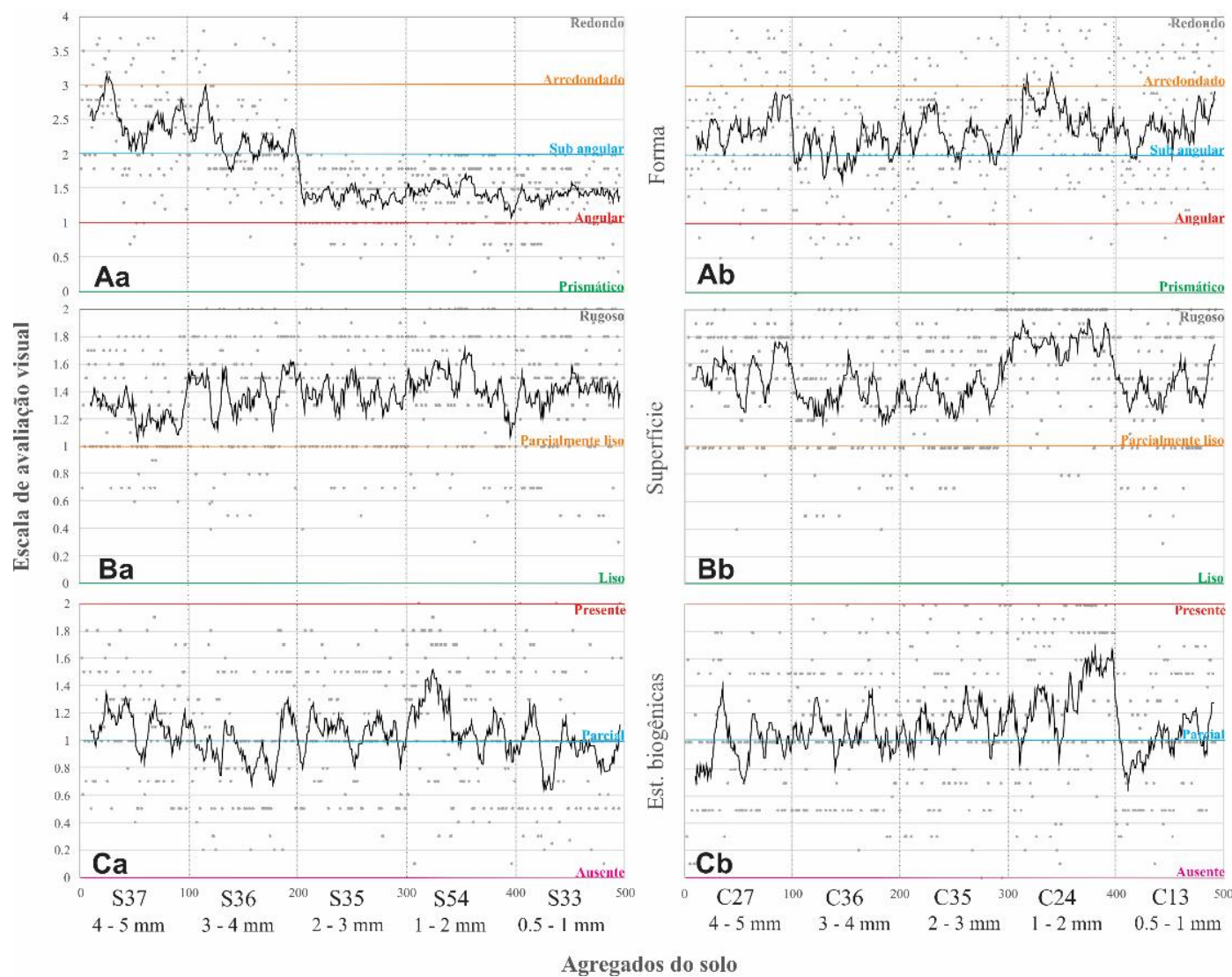
Parâmetro estatístico	Forma do agregado									
	S37	C27	S36	C36	S35	C35	S54	C34	S33	C33
<i>No. de observações</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Valor mínimo</i>	0.70	0.50	0.80	0.00	0.80	0.70	0.50	0.00	0.50	0.70
<i>1° quartil</i>	2.00	1.90	1.80	1.50	2.00	1.80	1.78	2.00	1.68	1.78
<i>Mediana</i>	2.70	2.30	2.00	2.00	2.30	2.15	2.00	2.55	2.00	2.00
<i>Média</i>	2.52	2.38	2.20	2.10	2.40	2.27	2.21	2.55	2.15	2.40
<i>3° Quartil</i>	3.00	2.95	2.53	2.70	2.80	2.80	2.80	3.00	2.73	3.30
<i>Valor máximo</i>	3.70	3.80	3.80	3.80	3.80	3.70	3.70	4.00	3.90	3.90
<i>Amplitude</i>	3.00	3.30	3.00	3.80	3.00	3.00	3.20	4.00	3.40	3.20
<i>Variância (n-1)</i>	0.51	0.61	0.37	0.74	0.45	0.44	0.64	0.64	0.66	0.74
<i>Desvio padrão (n-1)</i>	0.72	0.78	0.61	0.86	0.67	0.66	0.80	0.80	0.81	0.86
<i>Coeficiente de variação</i>	0.28	0.33	0.28	0.41	0.28	0.29	0.36	0.31	0.38	0.36
<i>Coeficiente de assimetria</i>	-0.36	0.02	0.67	-0.01	0.34	0.23	0.05	-0.25	0.19	0.13
<i>Curtose</i>	-0.44	-0.65	0.11	-0.69	-0.49	-0.37	-0.73	0.23	-0.71	-1.29

A análise estatística descritiva para a avaliação visual da superfície, apresentou resultados similares (Tabela 8). A carta de controle também demonstrou diferenças entre as amostras com e sem agregante, onde, apesar de ambas apresentarem agregados ligeiramente rugosos, há diferenças nas tendências das peneiras de 4mm e 1mm, com valores mais elevados para o tratamento com agregante. Ainda, um comportamento similar foi obtido entre as Figuras 13Ab e 13Bb, indicando um padrão na percepção do analista que associou agregados arredondados com a superfície rugosa.

Tabela 8. Resultados da análise estatística descritiva para a avaliação visual da rugosidade de superfície na escala de valores Fuzzy.

Parâmetro estatístico	Superfície do agregado									
	S37	C27	S36	C36	S35	C35	S54	C34	S33	C33
<i>No. de observações</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Valor mínimo</i>	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.30	0.00	0.30	0.30
<i>1° quartil</i>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.70	1.00	1.18
<i>Mediana</i>	1.20	1.60	1.50	1.50	1.50	1.40	1.55	1.90	1.50	1.50
<i>Média</i>	1.25	1.53	1.40	1.37	1.38	1.40	1.44	1.76	1.41	1.44
<i>3° Quartil</i>	1.60	1.80	1.73	1.63	1.80	1.70	1.80	2.00	1.73	1.80
<i>Valor máximo</i>	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
<i>Amplitude</i>	0.80	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	0.82
<i>Variância (n-1)</i>	0.12	0.12	0.17	0.16	0.16	0.14	0.19	0.13	0.18	0.16
<i>Desvio padrão (n-1)</i>	0.35	0.35	0.41	0.40	0.40	0.37	0.44	0.36	0.42	0.39
<i>Coefficiente de variação</i>	0.28	0.22	0.29	0.29	0.29	0.26	0.30	0.20	0.30	0.27
<i>Coefficiente de assimetria</i>	0.09	-0.83	-0.53	-0.41	-0.32	-0.09	-0.49	-2.19	-0.65	-0.66
<i>Curtose</i>	-1.14	-0.11	-0.64	-0.57	-0.98	-1.29	-0.85	5.74	-0.37	-0.24

Figura 14. Cartas de controle de variabilidade ao acaso para os resultados da avaliação visual das imagens dos agregados do solo tomando uma escala numérica Fuzzy.



*As amostras *SXX* correspondem às sem agregante e as amostras *CXX* com agregante.

Os valores do coeficiente de variação apresentaram-se mais elevados para percepção da atividade biológica, indicando diferenças mais expressivas na presença e composição das estruturas biogênicas dos agregados do solo, ou uma maior incerteza no processo de inspeção visual (Tabela 9). Ambos os tratamentos (com e sem agregante) apresentaram valores em torno da classe parcial (Figura 11C). Entretanto, como há uma diferenciação na frequência de picos na linha de tendência, há indicativo de um comportamento diferenciado na variabilidade dos tratamentos. A amostra sem agregante apresentou uma menor frequência de picos (Figura 13Ca), variando em torno do valor 1, enquanto que na amostra com agregante se observou uma frequência maior de picos, porém, variando próxima ao valor 1.1 (Figura 13Cb). Tais resultados sugerem que há uma tendência de transição para a classe “presente”, na amostra com agregante, principalmente para a peneira de 1mm (C24), além de uma maior incerteza na classificação do tratamento sem agregante.

Tabela 9. Resultados da análise estatística descritiva para a avaliação visual da presença de estruturas biogênicas na escala de valores Fuzzy.

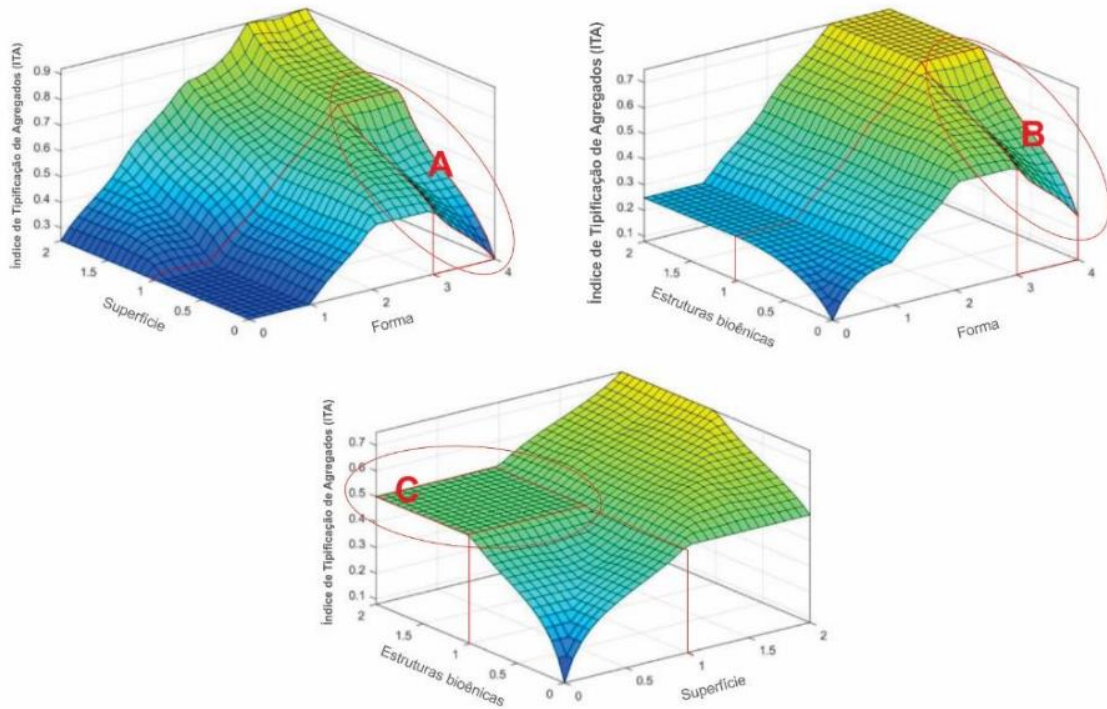
Parâmetro estatístico	Estruturas biogênicas									
	S37	C27	S36	C36	S35	C35	S54	C34	S33	C33
<i>No. de observações</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Valor mínimo</i>	0.40	0.10	0.20	0.20	0.30	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10
<i>1º quartil</i>	0.95	0.50	0.50	0.50	0.70	0.70	0.70	0.80	0.50	0.50
<i>Mediana</i>	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.30	1.00	1.00
<i>Média</i>	1.12	0.96	0.95	1.06	1.05	1.11	1.13	1.30	0.95	1.03
<i>3º Quartil</i>	1.40	1.10	1.20	1.50	1.40	1.50	1.50	1.80	1.00	1.50
<i>Valor máximo</i>	1.90	1.80	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80
<i>Amplitude</i>	1.50	1.70	1.60	1.80	1.50	2.00	1.90	2.00	1.90	1.70
<i>Variância (n-1)</i>	0.14	0.18	0.17	0.19	0.15	0.24	0.23	0.33	0.20	0.19
<i>Desvio padrão (n-1)</i>	0.38	0.42	0.41	0.44	0.38	0.49	0.48	0.58	0.45	0.44
<i>Coeficiente de variação</i>	0.33	0.43	0.43	0.41	0.36	0.44	0.42	0.44	0.47	0.42
<i>Coeficiente de assimetria</i>	-0.02	0.30	0.09	0.03	0.09	0.01	-0.21	-0.37	0.37	-0.08
<i>Curtose</i>	-0.81	-0.54	-0.63	-0.93	-0.87	-0.82	-1.03	-1.11	-0.40	-1.11

5.3.2 Base de regras

Todas as combinações dos atributos de forma (prismático, angular, sub angular, arredondado e redondo), rugosidade de superfície (rugoso, parcialmente liso e liso) e presença de estruturas biogênicas (presente, parcial e ausente), foram consideradas como válidas pelos especialistas, resultando em 45 regras para o sistema de inferência Fuzzy (ANEXO 2).

Porém, o relacionamento entre as entradas e saídas, definido pelas regras, foi permeado por algumas peculiaridades derivadas do conhecimento dos especialistas quanto ao fenômeno da agregação do solo. Conforme demonstram as superfícies Fuzzy (Figura 14), não há uma relação estritamente linear entre a aproximação da forma redonda e o aumento no índice de tipificação de agregados (ITA), uma vez que há a possibilidade de uma partícula de rocha assumir a forma arredonda ou redonda. Dessa maneira uma determinada partícula com esse padrão de forma apenas seria considerada um agregado do solo consistente ou muito consistente se apresentasse ao menos rugosidade parcial (Figura 14A) e presença parcial de estruturas biogênicas (Figura 14B). Como agregados sub angulares são formados por uma aglomeração de partículas menores, o que caracteriza sua forma, em condições de rugosidade e atividade biológica baixa, apresentam-se mais consistentes quanto a agregação do que uma partícula arredondada ou redonda isolada, principalmente em agregados de menor dimensão. Portanto, conforme a Figura 14 A e B demonstra, a base de regras foi sensível ao conhecimento dos especialistas, com a representação desses pressupostos na construção do sistema.

Figura 15. Superfícies Fuzzy geradas a partir da base de regras para tipificação dos agregados do solo.



Outro aspecto considerado foi o relacionamento entre as estruturas biogênicas e a rugosidade de superfície. Um agregado desenvolvido (consistente ou muito consistente) carece necessariamente de uma rugosidade de superfície elevada, uma vez que, para apresentar grau de desenvolvimento avançado, é necessário que várias partículas de solo sejam aglomeradas. Portanto, assumiu-se não houver a possibilidade de um agregado com elevada atividade biológica, porém, liso ou parcialmente liso, assumir um grau de consistência elevado, pois representa um agregado em estágio inicial/intermediário de desenvolvimento. A Figura 14C demonstra a materialização desses pressupostos na base de regras, onde, para um agregado parcialmente liso ou liso (valores inferiores a 1), com estruturas biogênicas parciais ou presentes (valores superiores a 2), há a atribuição do valor 0,5 ao ITA, sendo um grau de consistência mais elevado apenas seria obtido em situações onde a rugosidade de superfície também tende para valores superiores a 1 (classe parcial para a rugosa).

5.3.3 Resultados da tipificação dos agregados do solo

As amostras obtiveram uma amplitude de variação de entre 0.6 e 0.8, com exceção da peneira C24 (com agregante, 1-2mm), que assumiu valor máximo da amplitude (Tabela 10). Todavia, os valores para o coeficiente de variação, manteve-se próximo em todas as peneiras e para os dois tratamentos, entre 25 e 35%.

As medidas dos quartis demonstram que a peneira C24 (1-2mm) tendeu a apresentar valores mais elevados no índice de tipificação (ITA), assumindo também uma curtose elevada e assimetria superior a -1 (distribuição de frequência deslocada para a direita - Figuras 15 e 16). Todas peneiras também apresentaram valores negativos de assimétrica, com valores para média e mediana superiores a 0.6, e algumas variações nas medidas de curtose. Portanto, em conjunto com a análise das Figuras 15 e 16, observa-se uma predominância de agregados consistentes ou muito consistentes, o que sugere uma boa/muito boa (C24) condição de agregação na amostra (Figura 17).

Tabela 10. Resultados da análise estatística descritiva para o índice de tipificação de agregados do solo.

Parâmetro estatístico	ITA S37	ITA C27	ITA S36	ITA C36	ITA S35	ITA C35	ITA S54	ITA C24	ITA S33	ITA C13
No. de observações	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Valor mínimo	0.18	0.16	0.20	0.19	0.17	0.20	0.19	0.00	0.16	0.28
1º quartil	0.54	0.56	0.50	0.43	0.45	0.51	0.50	0.63	0.51	0.50
Mediana	0.68	0.66	0.66	0.61	0.63	0.62	0.64	0.77	0.62	0.65
Média	0.64	0.65	0.63	0.58	0.60	0.62	0.61	0.74	0.60	0.64
3º Quartil	0.76	0.80	0.75	0.72	0.75	0.74	0.74	0.89	0.70	0.80
Valor máximo	0.90	0.92	1.00	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.88	0.99
Amplitude	0.72	0.76	0.80	0.79	0.82	0.79	0.80	1.00	0.72	0.71
Variância (n-1)	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03
Desvio padrão (n-1)	0.17	0.18	0.17	0.20	0.20	0.16	0.21	0.19	0.15	0.18
Coeficiente de variação	0.26	0.27	0.26	0.34	0.32	0.26	0.33	0.26	0.24	0.28
Coeficiente de assimetria	-0.85	-0.68	-0.35	-0.26	-0.35	-0.45	-0.35	-1.10	-0.51	-0.22
Curtose	0.35	-0.03	-0.52	-0.78	-0.90	-0.12	-0.53	1.63	-0.27	-0.92

*As amostras SXX correspondem às sem agregante e as amostras CXX com agregante.

Figura 16. Histogramas das classes de consistência da agregação obtidos através do índice de tipificação de agregados do solo para as amostras sem agregante.

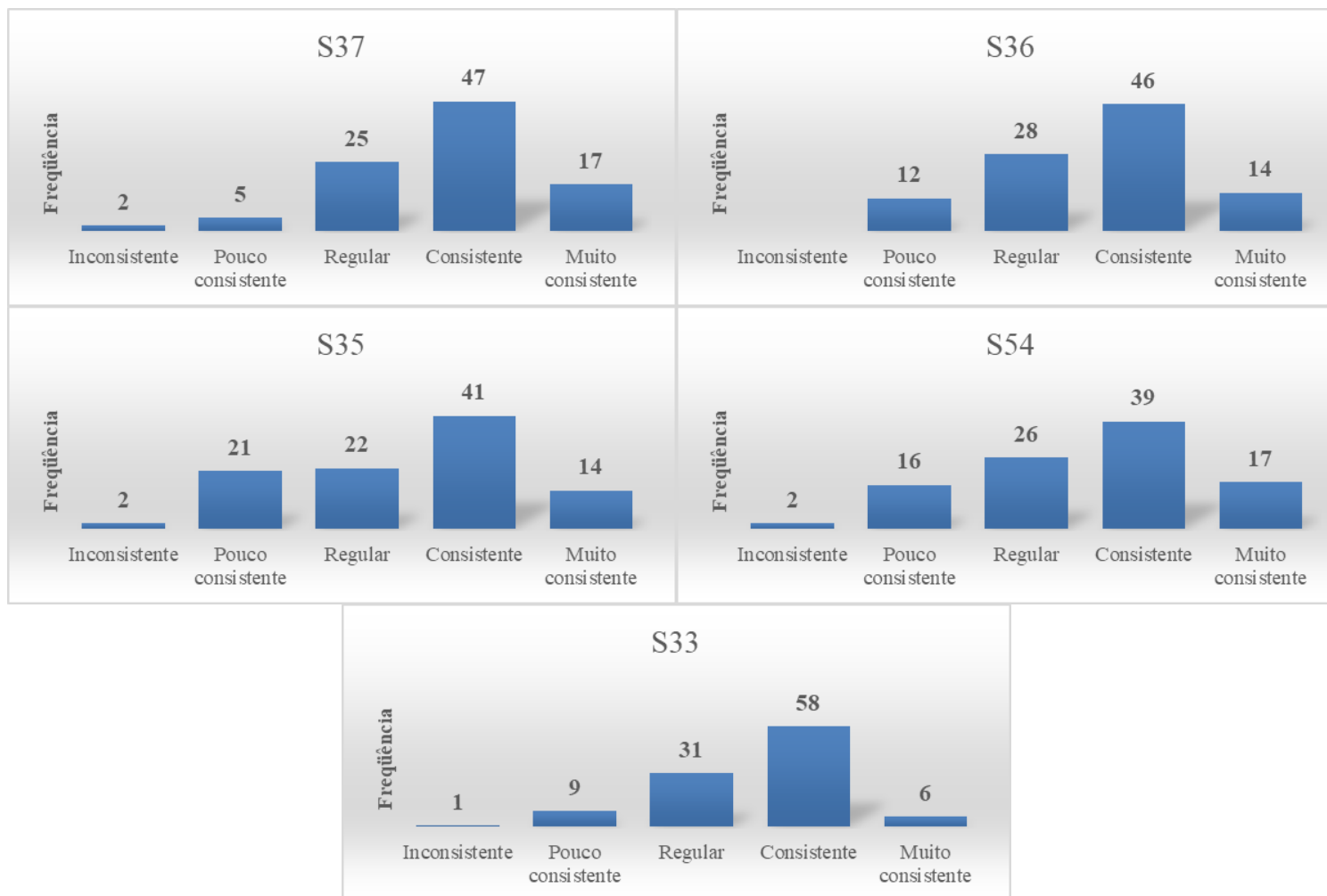


Figura 17. Histogramas das classes de consistência da agregação obtidos através do índice de tipificação de agregados do solo para as amostras com agregante.

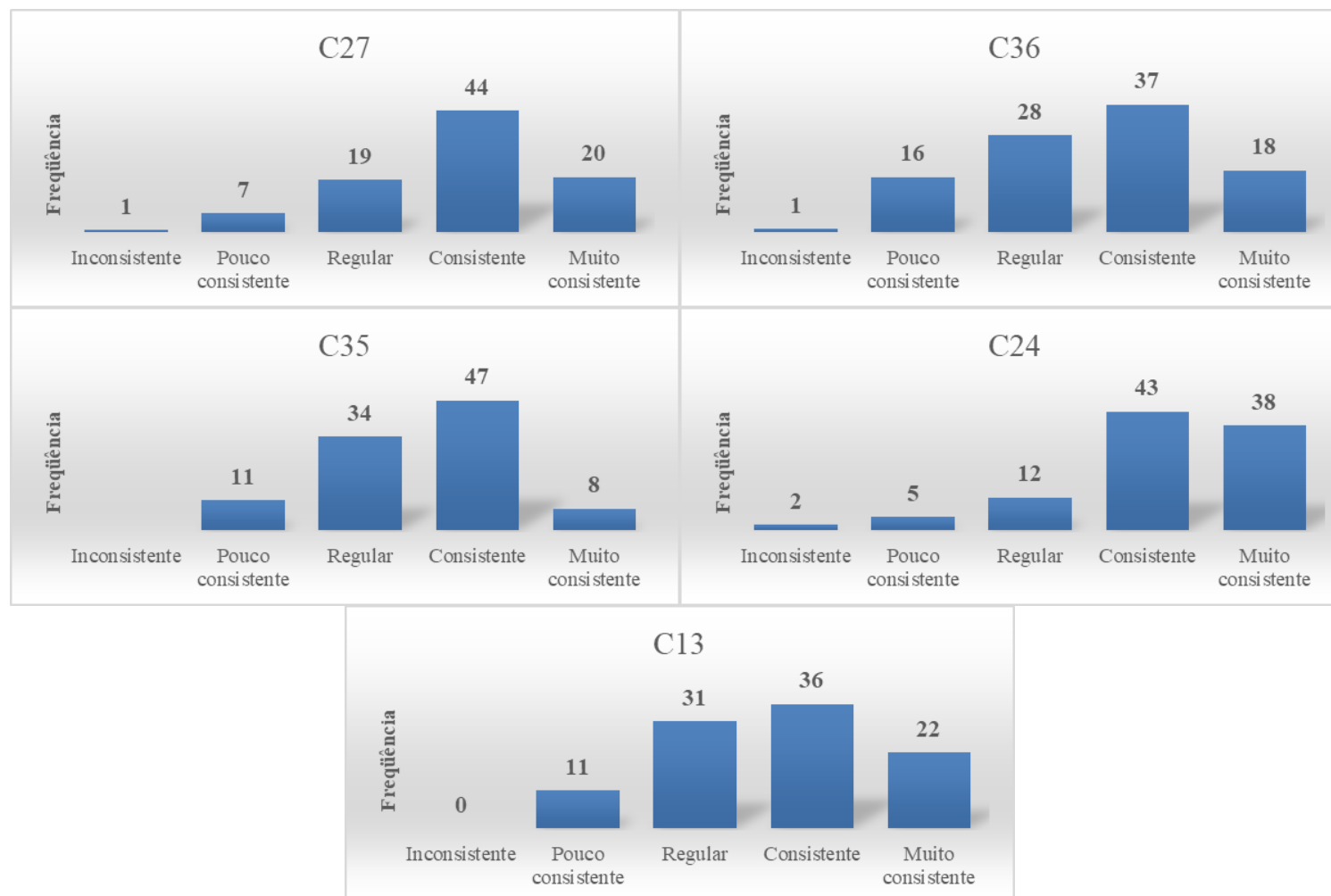
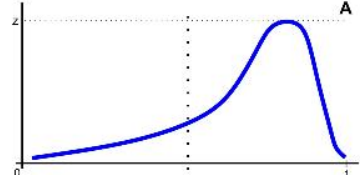
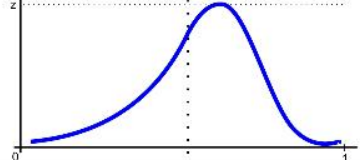
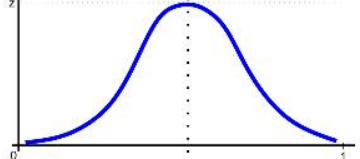
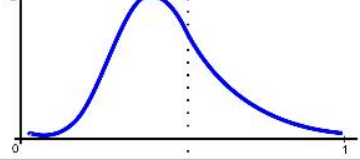
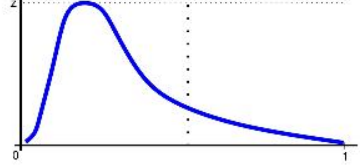


Figura 18. Quadro de referência para caracterização da agregação nas amostras de solo com base em distribuições teóricas de frequência obtidas por meio de medidas de quartis.

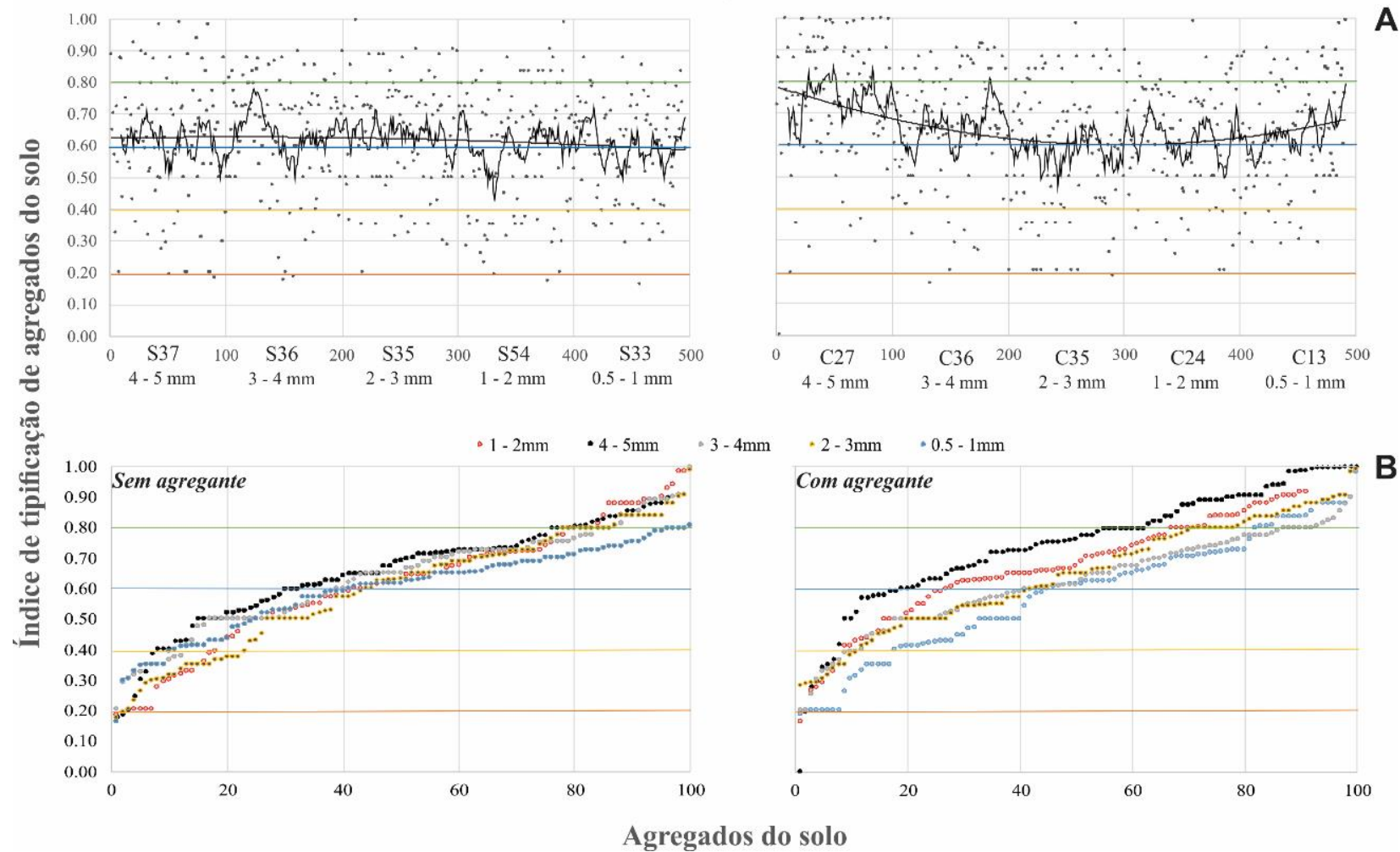
Agregação do solo	Padrão da amostra	Condição de referência para o índice de tipificação de agregados
Muito boa	 <p>Gráfico A: Distribuição de frequência assimétrica à esquerda com o pico deslocado para a direita.</p>	Entre 80 e 100% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Boa	 <p>Gráfico B: Distribuição de frequência simétrica e unimodal com o pico centralizado.</p>	Entre 60 e 80% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Regular	 <p>Gráfico C: Distribuição de frequência simétrica e unimodal com o pico centralizado.</p>	Entre 40 e 60% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Fraca	 <p>Gráfico D: Distribuição de frequência assimétrica à direita com o pico deslocado para a esquerda.</p>	Entre 20 e 40% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Muito fraca	 <p>Gráfico E: Distribuição de frequência assimétrica à direita com o pico deslocado para a esquerda.</p>	Entre 0 e 20% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .

5.3.4 Análise da variabilidade das amostras de solo

Apesar da semelhança entre os histogramas, as cartas de controle demonstram que existem diferenças nas tendências de variabilidade entre os dois tratamentos (Figura 18). As cartas de variabilidade ao acaso demonstram que ambos os tratamentos se mantêm em torno do valor 0.6, associado ao termo linguístico consistente. Porém, observou-se um comportamento da variabilidade diferenciado nas peneiras de cada tratamento. A amostra sem agregante apresenta uma tendência próxima a linear, com variação em torno dos valores 0.6 e 0.65 (Figura 18A), e presença de alguns picos tendendo a valores mais elevados de consistência nas peneiras de 2 a 4 mm (S36 e S35), além de picos tendendo a valores mais baixos nas peneiras de 0.5 a 2 mm (S54 e S33).

As amostras com agregante apresentaram um comportamento diferenciado e próximo ao quadrático (Figura 18A), com tendência de aproximação da classe muito consistente nas peneiras de 2 a 4mm (C27 e C36) e 0.5 a 2 mm (C24 e C13). As cartas de variabilidade hierarquizada também possibilitam visualizar tais diferenças no comportamento da variabilidade (Figura 18B), com valores mais elevados para as curvas das peneiras de 4 a 5 mm e 1 a 2 mm no tratamento com agregante, enquanto há um grau maior de proximidade entre as curvas das peneiras do tratamento sem agregante.

Figura 19. Cartas de controle de variabilidade ao acaso (A) e hierarquizada (B) construídas a partir do índice de tipificação de agregados do solo.

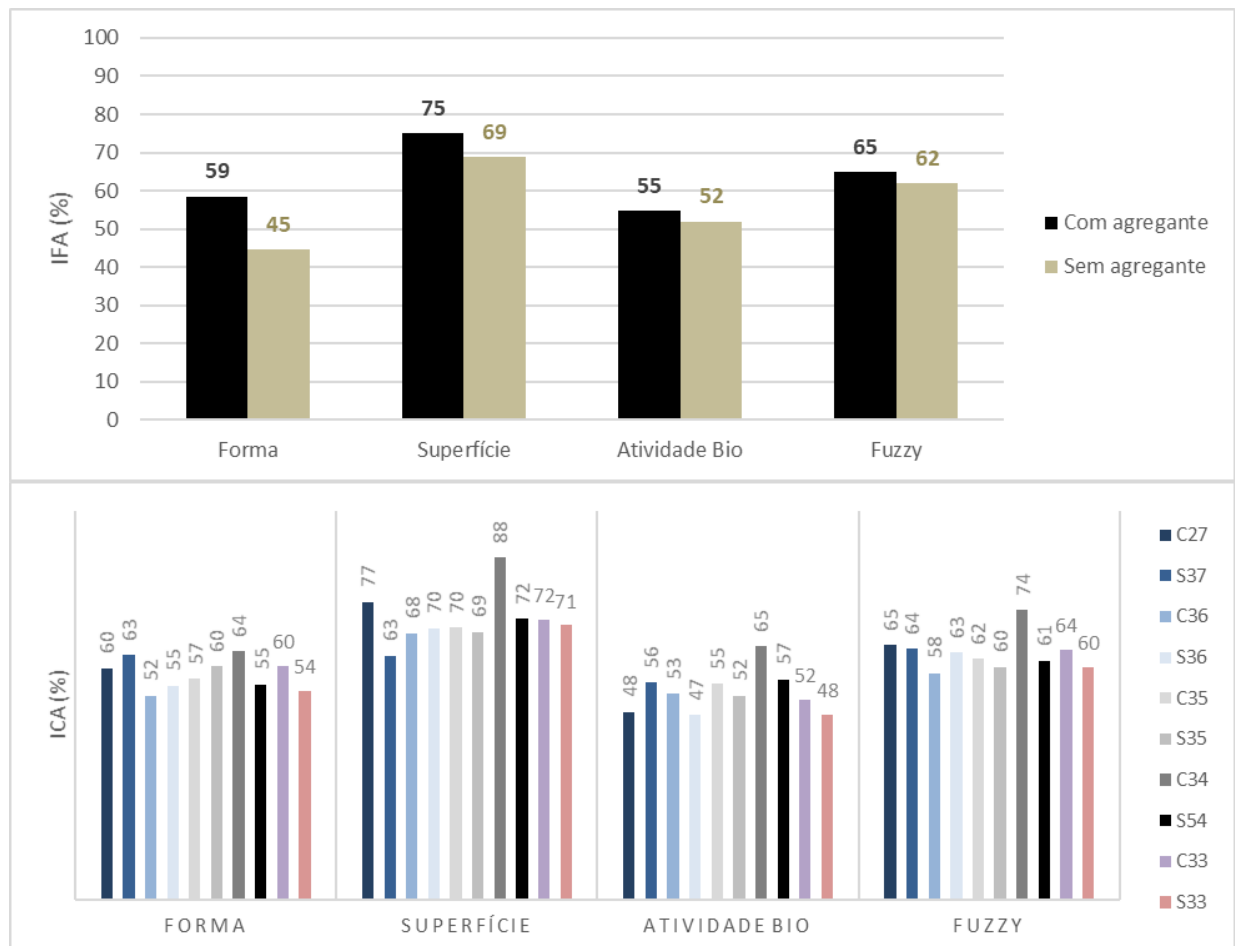


*As amostras *SXX* correspondem às sem agregante e as amostras *CXX* com agregante.

5.3.5 Índice de eficiência na agregação

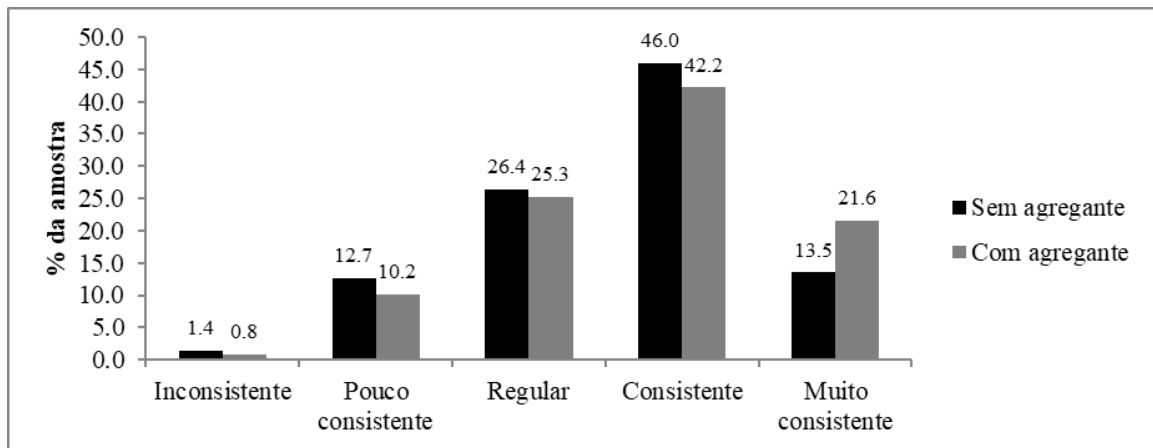
O índice de eficiência da agregação do solo apresentou valores ligeiramente superiores para o tratamento com agregante (Figura 19). Ainda, observa-se que a rugosidade de superfície representou o parâmetro que atingiu maiores valores, seguido pela forma e posteriormente pela atividade biológica. Portanto, para fins práticos de manejo do solo e melhoria do estado de agregação, observa-se que o processo de atividade biológica representou o fator limitante na condição de agregação da amostra.

Figura 20. Resultados do índice de eficiência da agregação (IFA) para os tratamentos de solo com e sem agregante.



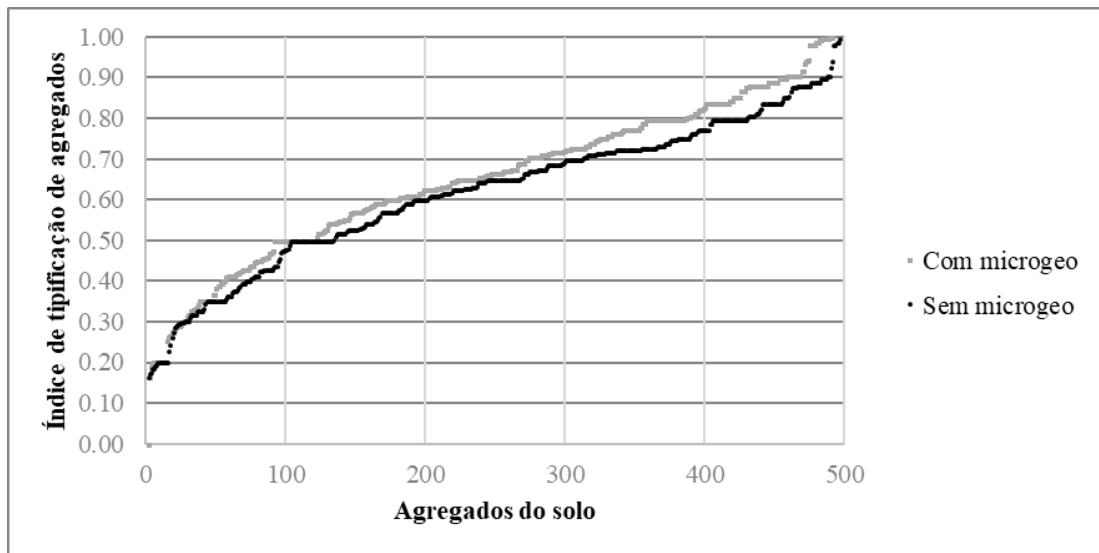
Tal resultado demonstra coerência com a distribuição de frequência de toda a amostra (Figura 20). O tratamento com agregante apresentou uma maior porcentagem da amostra de agregados do solo pertencentes à classe consistente, bem como menores porcentagens associadas à classe regular, pouco consistente ou inconsistente.

Figura 21. Histograma dos tratamentos de solo com e sem agregante para a tipificação dos agregados do solo.



Na carta de variabilidade hierarquizada (Figura 20), identifica-se a ocorrência de valores superiores do IFA em quase toda amostra com agregante. Portanto, esses resultados indicam uma melhor qualidade do processo de agregação nesse tratamento.

Figura 22. Carta de variabilidade hierarquizada do índice tipificação dos agregados do solo para os tratamentos com e sem agregante.



5.4 Conclusões

Com o auxílio da Lógica Fuzzy é possível transformar a percepção visual da combinação de parâmetros para tipificação de agregados.

O emprego da análise da variabilidade permitiu avaliar a condição de agregação das amostras.

O índice de eficiência de agregação proposto mostrou-se adequado podendo ser indicado como referência da qualidade de agregação de amostras de solo agrícola.

6 QUALIFICAÇÃO DA AGREGAÇÃO EM AMOSTRAS DE SOLO AGRÍCOLAS

6.1 Introdução

Como a agregação representa uma condição do solo podemos afirmar que uma análise integral dos dados (todas as peneiras) pode caracterizar o estado de momento referente à agregação num todo. Na verdade, o processo de agregação é um todo no solo. A estratificação promovida pelo peneiramento é uma técnica que auxilia no diagnóstico de partes. No entanto, o que realmente interessa para o agricultor é como está a qualidade de agregação do seu solo.

A expectativa com o envio da amostra para análise laboratorial cria no agricultor uma necessidade de receber um resultado objetivo e prático. “Como está o meu solo?”. Essa é uma pergunta que os resultados da análise devem responder.

Os objetivos deste enfoque é contribuir para integrar os resultados de forma a estabelecer uma diretriz objetiva para a qualificação da agregação em amostras de solo. Neste sentido, dois conceitos são levados em consideração. O equilíbrio e a consistência da agregação da amostra de solo.

O equilíbrio pode ser entendido como o resultado da comparação do comportamento de agregação dos estratos utilizados na análise. Alguns parâmetros descritivos de variabilidade podem ser utilizados para concretizar o parecer de estabilidade. Neste estudo optamos por analisar as cartas de variabilidade ao acaso do índice de tipificação desenvolvido no capítulo 4, uma vez que foi observada sua sensibilidade em indicar diferenças no comportamento da variabilidade das peneiras nas amostras estudadas. Esse método de inferência também foi selecionado, pois a análise gráfica (Teoria de Dow) representa uma maneira relativamente simples de inferência, diferentemente dos outros parâmetros como medidas de posição, dispersão ou testes de hipótese, que requerem conhecimentos estatísticos preliminares.

Já consistência pode ser entendida como a homogeneidade em que o conjunto de agregados apresente os três fatores de qualificação (forma redonda/arredondada, superfície rugosa e presença de estruturas biogênicas). Uma amostra é considerada consistente na medida em que esses três fatores ocorrem na formação da maioria dos agregados que compõe a amostra.





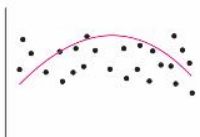
De forma análoga ao equilíbrio, optou-se também pela análise gráfica, porém, tomando como referência histogramas de frequência do índice de tipificação, comparado aos padrões de referência propostos no capítulo 4.

Hu et al. (2018) utilizaram da Teoria de Dow para elaborar um modelo matemático com objetivo de prever a direção de preços de abertura de ações em função de índices médios industriais S&P500 e Dow Jones. Zhang et al. (2018) propuseram um sistema de previsão que classifica tendências de preços de ações em quatro classes principais (*Up*, *Down*, *Flat* e *Unknown*). As características dos resultados incluí uma combinação de dados aleatórios relacionados com desequilíbrio e seleção de recursos. Concluíram os autores que o sistema proposto pode fazer previsões efetivas e foi robusto para a volatilidade do mercado, superando alguns métodos existentes em termos de precisão e retorno por comércio. Numa analogia aos trabalhos de Hu et al., (2018) e Zhang et al. (2018) utilizamos a variabilidade tipológica para quantificar o comportamento de agregação, pretendendo também prever a direção da agregação em amostras de solo.

6.2 Proposta de análise de equilíbrio de agregação

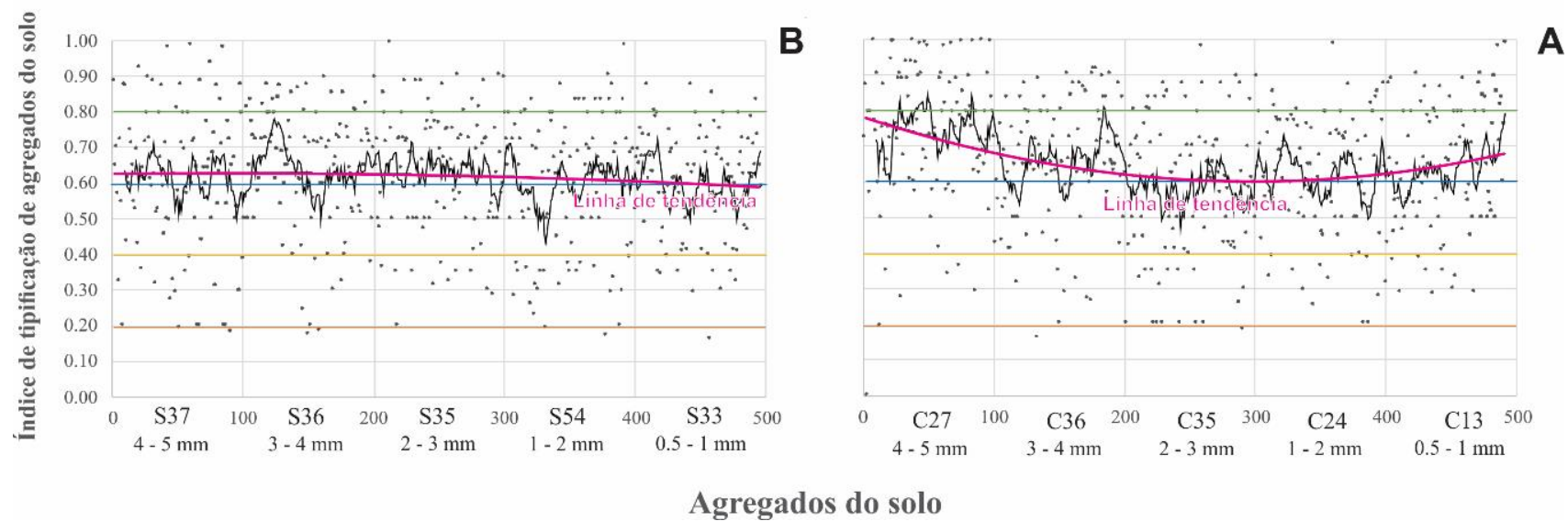
Para determinar a condição de equilíbrio de agregação em amostras de solo recomenda-se a análise das linhas de tendências da carta de variabilidade ao acaso (Figura 22), tomando o conjunto de padrões da Tabela 11 como referência para a qualificação da amostra.

Tabela 11. Padrão gráfico para qualificação do equilíbrio nas amostras de solo.

Qualificação da amostra	Critério	Padrão gráfico		
Em equilíbrio	Linha de tendência linear (tomando modelo de ajuste polinomial de segundo grau)			
Próxima ao equilíbrio	Linha de tendência próxima a linear (tomando modelo de ajuste polinomial de segundo grau)		ou	
Desequilibrada	Linha de tendência quadrática (tomando modelo de ajuste polinomial de segundo grau)		ou	

Portanto, considerando as duas amostras da Figura 22, observamos que a amostra com agregante (Figura 22A) se apresenta em desequilíbrio, ou seja, com comportamento diferenciado da agregação nas diferentes peneiras que a compõe, enquanto que a amostra sem agregante (Figura 22B) apresenta uma condição próxima ao equilíbrio, onde há uma tendência de variabilidade similar nas peneiras, com algumas diferenças.

Figura 23. Cartas de controle de variabilidade ao acaso para amostra com (A) e sem (B) agregante, construídas a partir do índice de tipificação de agregados do solo.



*As amostras *SXX* correspondem às sem agregante e as amostras *CXX* com agregante.

6.3 Proposta de análise de consistência

A consistência pode ser analisada de forma análoga, tomando o conjunto de histogramas de amostras (Figuras 23 e 24) e os padrões de referência da Figura 25. Conforme se observa na Figura 23, todos os histogramas da amostra sem agregante podem ser classificados em duas classes: de consistência regular e boa, comprovando que a amostra não se encontra em equilíbrio. Porém, não são identificados grandes desvios na consistência das peneiras.

Já na amostra com agregante (Figura 24), os histogramas podem ser classificados em três classes de consistência, regular, boa e muito boa. Portanto, comprova-se que a amostra também não se encontra em equilíbrio, com presença de três classes de consistência presentes. Todavia, o resultado obtido não representa um aspecto necessariamente negativo, uma vez que há uma tendência de transição para um grau de consistência mais elevado (muito bom), indicando que a amostra está desenvolvendo uma melhor condição de agregação.

Figura 24. Histogramas das classes de consistência da agregação obtidos através do índice de tipificação de agregados do solo para as amostras sem agregante.

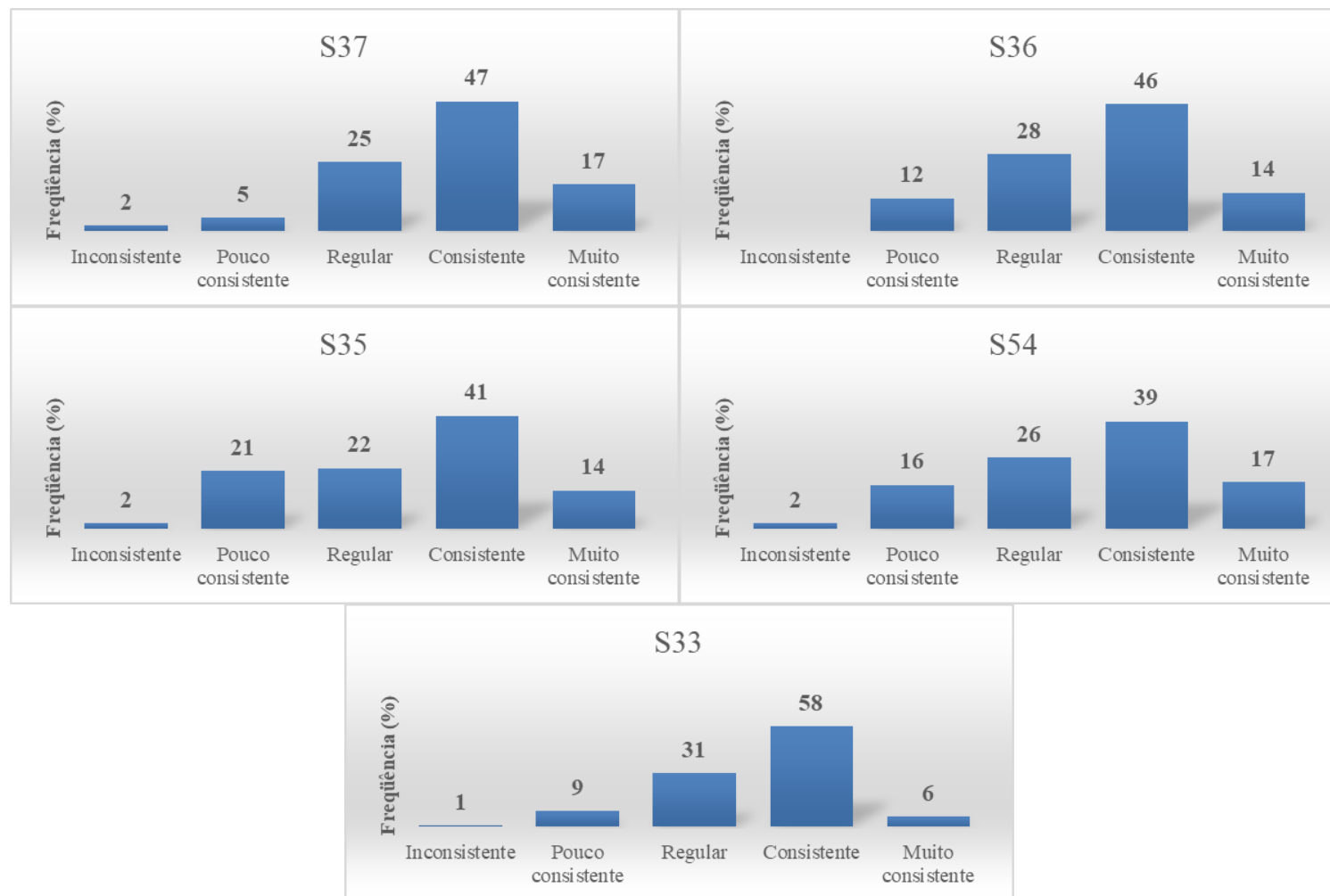


Figura 25. Histogramas das classes de consistência da agregação obtidos através do índice de tipificação de agregados do solo para as amostras com agregante.

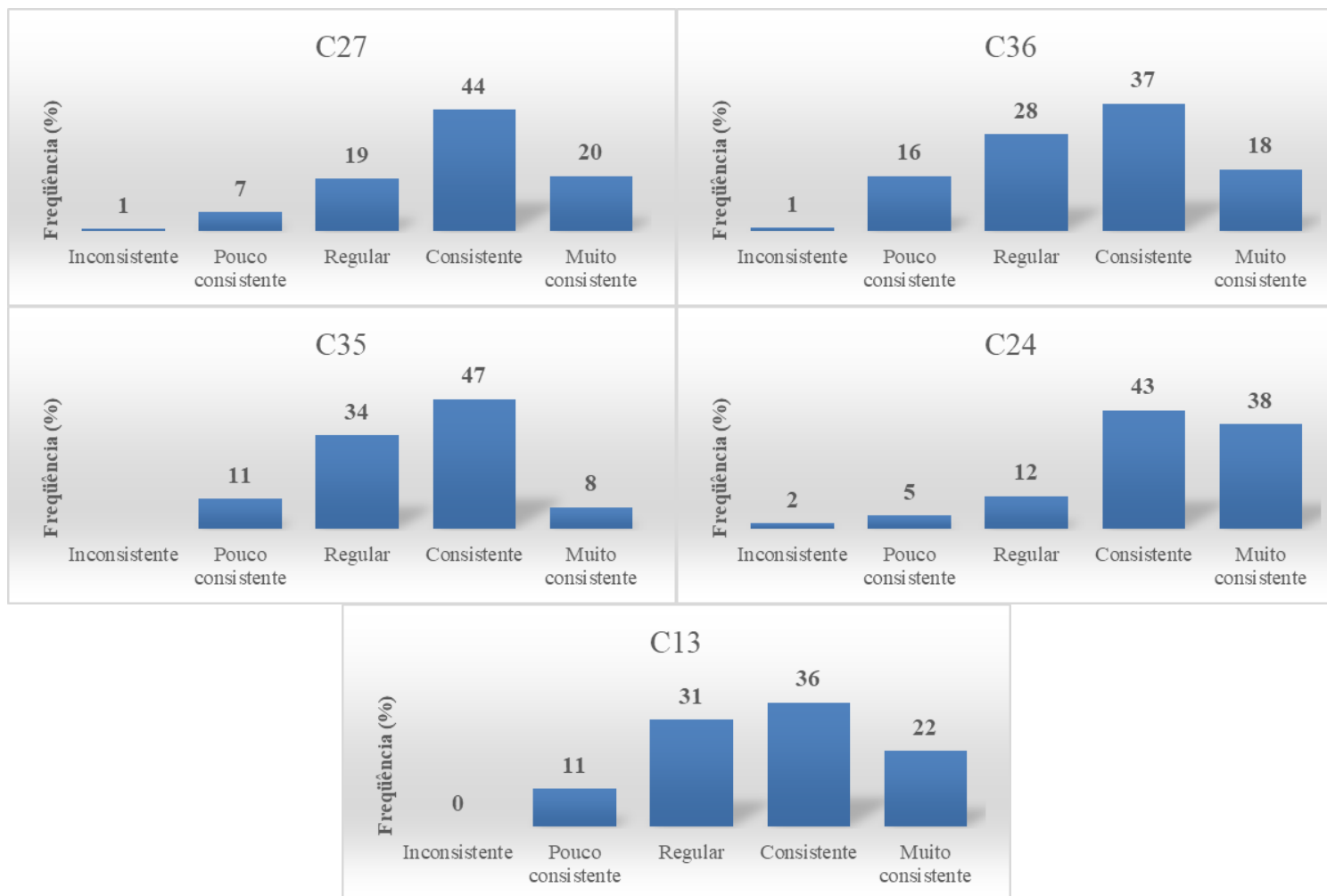
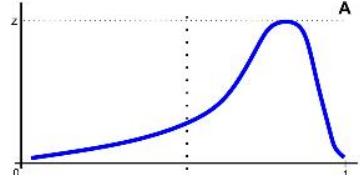
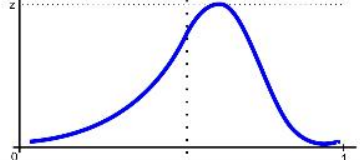
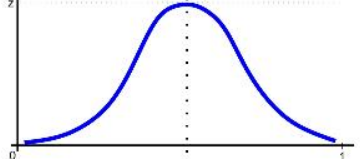
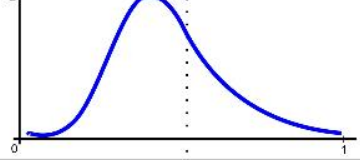
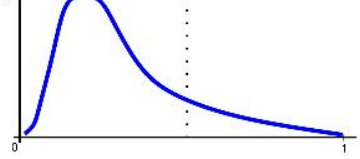


Figura 26. Quadro de referência para caracterização da agregação nas amostras de solo com base em distribuições teóricas de frequência obtidas por meio de medidas de quartis.

Agregação do solo	Padrão da amostra	Condição de referência para o índice de tipificação de agregados
Muito boa		Entre 80 e 100% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Boa		Entre 60 e 80% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Regular		Entre 40 e 60% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Fraca		Entre 20 e 40% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .
Muito fraca		Entre 0 e 20% da amostra constituída de agregados consistentes ou muito consistentes .

6.4 Conclusões

A análise da variabilidade permite várias interpretações para qualificar a condição de agregação em amostras de solo.

A análise de variabilidade tipológica, quando utiliza diretrizes da teoria de Dow, permite prever a direção em que a agregação pode ocorrer no solo.

O uso de conceitos como a consistência e o equilíbrio permitem qualificar de forma prática a agregação do solo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo permitem afirmar que:

- É possível caracterizar a variabilidade de forma de agregados em amostras de solo agrícola através de medidas morfométricas.
- Apesar da forma ser um parâmetro muito importante somente a análise da variabilidade não representa o estado de agregação do solo.
- Com o auxílio da Lógica Fuzzy é possível transformar a percepção visual da combinação de parâmetros para tipificação de agregados.
- O emprego da análise da variabilidade pode servir como indicador prático e expedito da condição de agregação.
- A variabilidade de agregação pode ser utilizada para avaliação e monitoramento dos efeitos das práticas de manejo e recuperação de solos degradados.
- A leitura da consistência informa o agricultor sobre a condição de desenvolvimento ativo da agregação.
- A leitura do equilíbrio informa o agricultor à condição de estabilidade do processo de agregação.

8 CONCLUSÕES

A estratificação de amostras de solo através do peneiramento seleciona partículas pelo tamanho, podendo gerar confusão entre partículas minerais e partículas agregadas, não representando adequadamente a condição de agregação.

A integração de parâmetros representando pelo menos três características básicas (forma, rugosidade de superfície e biogênese) resultantes do processo de agregação permitiram com uso da Lógica Fuzzy, analisar o comportamento dos dados potencializando a qualificação da amostra de solo.

9 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C.; 2012. A Classificação de documentos fotográficos: um estudo em arquivos, bibliotecas e museus. **Tese de Doutorado em Ciência da Informação**. Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Marília, 287p.

BALL, B.C.; GUIMARÃES, R.M.L.; CLOY, J.M.; HARGREAVES, P.R. SHEPHERD, T.G.; MCKENZIE, B.M.; 2017. Visual soil evaluation: a summary of some applications and potential developments for agriculture. **Soil Tillage Res.**, 173, pp. 114–124.

BARROS L.; BASSANEZI R., 2006. **Tópicos de Lógica Fuzzy**. Biomatemática, v.5, Textos Didáticos, Campinas-SP, 354pp.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREEZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; & COSTA, L.M., 2005. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa – MG, 29: 21-31.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J., 1999. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre: Gênese, p.9-26.

BELLOTTO, H.L., 2002. **Como fazer análise tipológica de documento de arquivo**. Projeto Como Fazer, 8. Arquivo do Estado – Imprensa oficial. São Paulo. 120p. 2002.

BELMONT, D.F.S. 2010 **Teoria das ondas de Elliott: uma aplicação ao mercado de ações da bm&fbovespa**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Economia do Trabalho e Economia de Empresas) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

BERTOL, I. ; ALBUQUERQUE, J. A.; AMARAL, A. J. ; ZOLDAN JUNIOR, W. A., 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.1-9.

BIELDERS, C. L.; GRYMOPREZ, B., 2010. Rain drop impact: A Neglected but potentially major contributor to particle mobilization in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.74, n.5, p.1446-1456.

BOIX-FAYOS, C., CALVO-CASES, A., IMESON, A. C., SORIANO-SOTO, M. D., 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **Catena**, v. 44, n. 1, p. 47-67.

BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O., 2005. **Elementos de amostragem. Vol. 1.**, São Paulo: Edgard Blücher, 281p.

BONI, N.R.; GONÇALVES, C.P.; JAVANEZ JUNIOR, A.; 1997. Densidade, arredondamento e esfericidade de agregado como forma de avaliar a estrutura do solo. Resumo. **SINTESES: Revista Eletrônica da SIMTEC**, nº 1, 129p.

BOTTINELLI, N.; CAPWIEZ, J.Y.P.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X.; 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Reseach.**, 146, pp. 118-124.

CAPECHE, C.L.; 2008. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista.** Comunicado Técnico 51 – EMBRAPA. Rio de Janeiro. 6p.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V.; 2006. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.45, n.3, p.765-771.

CASTIONI, G.A.F.; 2013. **Variabilidade de atributos do solo e produtividade do feijoeiro em função da geoforma e da irrigação por pivô central**. Dissertação, (Mestrado) FEAGRI /UNICAMP.104p.

CHEN, G.; WEIL, R. R.; 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.37, n.4, p.1-11

COOPER, M.; **Estrutura e agregação do solo – Aula 3**, disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/292047/mod_resource/content/2/Aula%203%20-%20Estrutura%20e%20Agrega%C3%A7%C3%A3o%20do%20Solo.pdf>; Acesso em 06 de janeiro de 2018.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. A. F.; URIBE-OPAZO, M. A.; 2009.Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, n.1, p.81-94,

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G., 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.67, n.5, p.41-64.

DEVINE, D.; MARKEWITZ, P.; HENDRIX, D.; COLEMAN, d.; 2014. Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. **PLos One**, 9, p.84988.

DEXTER, A.R. 1985. Shapes of aggregates from tilled layers of some Dutch and Australian soils. **Geoderma**, 35, pp. 91-107.

DIÓGENES, H.J.F., 2010. **Análise tipológica de elementos e sistemas construtivos pré-moldados de concreto do ponto de vista de sensibilidade a vibrações em serviço**. [dissertação]. São Paulo (SP): Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

ELLIOTT, E.T.; COLEMAN, D.C.; 1988. Let the soil work for us. **Ecological Bulletins**, 39, pp. 23-32.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 40-50-212p.

ERDOGAN, S.T.; QUIROGA, P.N.; FOWER, D.W.; SALE, H. A.; LIVINGSTON, R.A.; GARBOCZI, E.J.; KETCHAM, P.M.; HAGEDORN, J.G., SATTERFIELD, S.G., 2006. Three-dimensional shape analysis of coarse aggregates: new techniques for and preliminary results on several different coarse aggregates and reference rocks. **Cem Concr Res**, 36 (9), pp. 1619-1627.

ESPINDOLA, C.R. 2008 – **Retrospectiva sobre a pedologia – um repasse bibliográfico** – Editora da UNICAMP – Campinas – SP, 400 p.

FERREIRA, M.M.; 2010 - Caracterização física do solo. In: Física do solo – Editor Quirijn Jong van Lier. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG; 298 p.

FRANÇA, L. V. G.; BRESSANE, A.; SILVA, F. N.; PECHE FILHO, A.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; ROVEDA, J. A. F.; ROVEDA, S. R. M. M., 2014. Modelagem Fuzzy Aplicada à Análise da Paisagem: Uma proposta para o diagnóstico ambiental participativo. **FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis-Goiás, v.3, n.3, jul.-dez. 2014, p.124-141.

GARBOUT, A.; MUNKHOLM, L.J.; HANSEN, S.B.; 2013. Temporal dynamics for soil aggregates determined using X-ray CT scanning. **Geoderma**, 204-205, pp. 15-22.

GROHMANN, F.; 1972. Estrutura. In: **Elementos de pedologia** – Coordenação Antônio Carlos Muniz. Editora Universidade de São Paulo/Editora Polígono – São Paulo, 460 p.

HAIRSINE, P.B.; ROSE, C.W.; 1991. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of low-driven processes. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, n.5, p.320–324.

HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K.; 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.82, n.5, p.121-145.

HERNANI, L.C. **Agregação do solo**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fwuzxobr02wyiv807fiqu9k024m72.html>; Acesso em 06 de janeiro de 2018.

HOLDEN, N.M.; 1995. Temporal variation in ped shape in an old pasture soil. **Catena**, 24, pp. 1-11.

HU, H.; TANG, L.; ZHANG, S.; WANG, H., 2018. Predicting the direction of stock markets using optimized neural networks with Google Trends. **Neurocomputing**, 285, PP. 188-195.

IDOETA, A.R.A., 2009. **Aplicação da análise gráfica no mercado de opções**. [dissertação]. São Paulo (SP): Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, USP.

IGATHINATHANE, C.; PORDESIMO, L.O.; COLUMBUS, E.P.; BATCHELOR, W.D.; METHUKU, S.R.; 2008. Shape identification and particles size distribution from basic shape parameters using ImageJ. Agricultural and Biological Engineering Department, Mississippi State University, Creel man Street, Mississippi State, **Computers and electronics in agriculture**, 63, 168–182p.

JASTROW, J.D.; BAUTTON, T.W.; MILLER, R.M. 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, 60, pp. 801–807.

JASTROW, J.D.; MILLES, R.M.; 1991. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Volume 34, P.279-303

JIANG, X.; HU, Y., BEDELL, J.H., XIE, D., WRIGHT A.L., 2011. Soil carbon and nutrient contents in aggregate-size fractions of a subtropical rice soil under variable tillage. **Soil Use Management**, 27, pp. 28–35

KAUFMANN, M.; TOBIAS, S., SCHULIN, R.; 2009. Quality evaluation of restored soils with a Fuzzy logic expert system. **Geoderma**, 151 (3/4), pp. 290-302.

KEBENEY, S. J., MSANYA, B. M., NG'ETICH, W. K., SEMOKA, J. M., SERREM, C. K.; 2015. Pedological characterization of some typical soils of Busiacounty, Western Kenya: soil morphology, physico-chemical properties, classification and fertility trends. **International Journal of Plant & Soil Science**, 4(1), 29-44p.

KRAVCHENKO, A.N.; WANG,W;SMUCKER, J A.J.M.; RIVERS.M.L.; 2011. Long-term differences in tillage and land use affect intra-aggregate pore heterogeneity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 75, pp. 1658-1666.

LEGOUT, C.; LEGUÉDOIS, S.; BESSIONNAIS, L.; ISSA, M.; 2005; Splash distance and size distributions for various soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, n.3, p.279-292.

LONGO ,R. M. , ESPÍNDOLA, C.R. & RIBEIRO, A. I., 1999. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB v.3, n.3, p.276-280.

LÓPEZ-GAYARRE, F.; SERNA, P.; SERRRANO-LÓPEZ, A.M.A; LÓPEZ-COLINA, C.; 2009. Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. **Waste Management**. V.29, p.3022-3028.

MACHADO, M. A. M.; FAVARETTO, N.; 2006. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: **Diagnósticos e recomendações de manejo de solo – Aspectos teóricos metodológicos**. Ed. Marcelo Ricardo de Lima, UFPR, Curitiba, p.233-254-342.

MARTÍNEZ, F. J. ; ARTEGA, F.S J; MONREAL; F. J. C.; KRAVCHENKO; A. N.; WANG, W.; 2015. Soil aggregate geometry: Measurements and morphology. **Geoderma**. pp.36-48.

MARTÍNEZ, F.S.J.; ORTEGA, F.J.M.; MONREAL, F.J.C.; KRAVCHENKO, A.N.; WANG, W., 2015. Soil aggregate geometry: Measurements and morphology. *Geoderma*, 237-238, pp. 26-48.

MCKENZIE, D.C. 2013. Visual soil examination techniques as part of a soil appraisal framework for farm evaluation in Australia. **Soil and Tillage Research.**, 127, pp. 26–33.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C.; 2008. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.781-788, 2008.

MELLO, G F G., 2015. **Áreas degradadas pela exploração de cassiterita: Avaliação das condições dos agregados e atividades biológicas**. [dissertação]. Sorocaba (SP): Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNESP – Universidade Estadual Paulista; 2015, 128 f.

MESQUITA, M. G. B. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; 2013. Física do solo. In: **O ecossistema solo – componentes relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Ed. UFLA, 2013, p.352.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O., 2006. Microbiologia e Bioquímica do solo. Editora UFLA. Lavras – MG, 2ªedição, 729p.

MOTTA, J.C.; SCOPEL, V. G.; Aspectos da tipologia na arquitetura – **Anais da XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós Graduação. Centro Universitário Ritter dos Reis– Porto Alegre – RS – Disponível em** :<https://www.uniritter.edu.br/files/sepesq/arquivos_trabalhos/3612/927/1070.pdf> - acesso em outubro de 2017.

MUNKHOLM, L.J.; HECK, R.J.; DEEN, B.; ZIDAR, T.; 2016, Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, 268, pp. 52-59.

NOVARA, A., PAPA, G. L., DAZZI, C., GRISTINA, L., CERDÀ, A., 2014. Soil aggregates, organic matter turnover and carbon balance in a Mediterranean eroded vineyard. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**.1059p.

OLIVEIRA, C.C.; GRANATO, D.; CARUSO, M.S.F.; SAKUMA, A.M., 2013. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1.ed., 76 p.

OLSZEWSKI, N.; COSTA,L.M., FERNANDES FILHO, E.I.; RUIZ, H.A.; ALVARENGA, R.C.; CRUZ,C.; 2004. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, p.901-909.

PASSONI, S.; BORGES, F.S.; PIRES, L.F. SAAB, S.C.; COOPER M., 2014. Software ImageJ to study soil pores distribution. **Ciênc. Agrotec.**, 38, pp. 122-128.

PECHE FILHO, A.; FREITAS, E. P.; RIBEIRO, A. I.; MEDEIROS, G. A.; MARQUES, B. V.; QUEIROZ, D. F. A.; FENGLER, F. H.; 2014, Metodologia IAC para análise de paisagem. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS**, XI, 2014, Poços de Caldas. Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas... Poços de Caldas, v. 6.CD-ROM.

PECHE, R.; E. RODRÍGUEZ, E.; 2012. Development of environmental quality indexes based on Fuzzy logic: a case study. **Ecological Indicators**., 23, pp. 555-565.

PERFECT, E.; ZHAI,Q., BLEVINS,R.L.;1997.Soil and tillage effects on the characteristic size and shape of aggregates. **Soil Science Society of America Journal** , 61, pp. 1459-1465.

PETH, S.; R. HORN, R.; BECKMANN, F.; DONATH,T.; A.J.M. SMUCKER, A.J.M.. 2008. Three-dimensional quantification of intra-aggregate pore-space features using synchrotron-radiation-based micro tomography. **Soil Science Society of America Journal** **Soil Science Society of America Jour**, 72, pp. 897-907

POLYAKOV, V.; LAL, R.; 2005. Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. **Environment International**, Berlin, v.30, n.4.

PRIMAVESI, A.; 2002. **Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, p.550.

RABOT, A.E.; WIESMEIER; M.; SCHLUTERA; S.; VOGEL, H.J., 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, 314, pp. 122-137.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de., 2017. Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES. Londrina: **Embrapa Soja. Documentos**, 390, 63 p.

RODRIGUEZ, J.M.; JOHANSSON, J.M.A.; EDESKAR, T., 2012. Particle shape determination by two-dimensional image analysis in geotechnical engineering. **Proceedings of Nordic conference on soil mechanics and geotechnics** pp. 207–218.

RODRÍGUEZ, N.R.; BEDOYA, E.V.; RESTREPO, L. F; GIRÓN, S.M.M.; 2017 Characterization and typification of coffee production systems (*Coffea arábica* L.), Andes municipality. **Revista da Facultad Nacional de Agronomía**; Medellín ,vol.70 no.3 ;8327 – 8339p.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L.; 2008. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1827-1835, 2008.

RUELLAN, A., CASTRO, S.S., 2017. **Os agregados dos solos: descrições e interpretações**; Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/SOLIDIDAC_2003_cap3_Agregados_dos_solos_13960.pdf>; Acesso: 09/12/2017.

SALTON, J.C; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOEMI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M & BROCH, D.L., 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa – MG, 32:11-21.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; 2005 **Manual de descrição e coleta de solo no campo**, 5ª. Edição. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG.- 92 p.

SARKER, A.J.; SINGHA, B.P.; COWIEA, A.L.; FANG, Y.; COLLINS, D.; BADGERY, W.; DALAL, R.C.; 2018. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. **Soil and Tillage Research**, 178, pp. 209–223.

SETZER, J.; 1941 – **As características dos principais tipos de solo do Estado de São Paulo**, Bragantia – IAC – Instituto Agronômico de Campinas , vol. 1, 255 – 359 p.

SHAW L.S.; SIMÕES M.G., 2001. **Controle e modelagem Fuzzy**. Edgard Blucher, São Paulo, 164pp

SILVA, A. S. 1999; Análise morfológica dos solos e erosão. In: **Erosão e conservação dos solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. Org. Antônio José Teixeira Guerra; Antônio Soares da Silva; Rosangela Garrido Machado Botelho. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.101-125.

SIX, E.T. ELLIOTT, K. PAUSTIAN. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biol. Biochem.**, 32, pp. 2099–2103.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Soil Science Society of America Journal.**, 33, pp. 141–163.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M.; 2007. **Solos e Fertilidade do solo**. São Paulo: Org. Andrei Editora, p.720.

TRUBER, P. V., 2013. Agregação do solo e ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em sistemas de rotação de culturas. **Dissertação Mestrado. UNESP** , Jaboticabal, 75 p. 2013.

VAN BELKUM A.; TASSIOS P.T.; DIJKSHOORN L.; HAEGGMAN S.; COOKSON B.; FRY N.K.; FUSSING V.,; GREEN J.,; FEIL E.; GERNER-SMIDT P.; BRISSE S.; STRUELENS M., 2007. Guidelines for the validation and application of typing methods for use in bacterial epidemiology. **Clin Microbiol Infec**, 13, pp. 1–46.

VAN LEEUWEN, M. M.W.J.; HEUVELINK, G B.M.; WALLINGA, J.; BOER, I. J.M.; VAN DAM, J. C.; VAN ESSEN, E. A.; MOOLENAAR, S. W.; VERHOEVEN, F. P.M.; STOORVOGEL, J. J.; STOOFA, C. R., 2018. Visual soil evaluation: reproducibility and correlation with standard measurements. **Soil and Tillage Research**, 178, pp. 167-178.

WANG, J.G.; YANG, W.; YU, B.; LI, Z.X.; CAI, C.F.; MA, R.M., 2016. Estimating the influence of related soil properties on macro- and micro-aggregate stability in ultisols of south-central China. **Catena**, 137, pp. 545-553.

WANG, X., CAMMERAAT, E. L., CERLI, C., KALBITZ, K., 2014. Soil aggregation and the stabilization of organic carbon as affected by erosion and deposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 72, p. 55-65.

WHALLEY, W.R.; RISELEY, B. ; LEED-HARISON, P.B.; BIRD, N.R.A.; LEECH, P.K.; ADDERLEY, W.P.; 2005. Structural differences between bulk and rhizosphere soil. **Eur. J. Soil Sci.**, 56, pp. 353-360.

ZANINI, R.R.; SOUZA, A.M.; JACOBI, L.F.; PERIPOLLI, A. DAPPER, S.N.; SILVA, A.C.L., 2016. A Utilização dos Gráficos de Controle para Acompanhamento de Processos de Vigilância. **Revista Espacios**, 37, 5 p.

ZHANG, J.; CUI, S.; XU, Y.; LI, Q.; LI, T., 2018. A novel data-driven stock price trend prediction system. **Expert Systems with Applications**, 97, pp. 60-69.

ANEXO 1. PROTOCOLO PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE DE AGREGADOS EM AMOSTRAS DE SOLO: PROPOSTA INICIAL

1 – ENSAIO:

2 – LOCAL E DATA:

3 – RESPONSÁVEL:

4 – CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA:

LOCAL DE COLETA:

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO:

DECLIVIDADE:

TIPO DE LAVOURA:

SISTEMA DE IMPLANTAÇÃO:

INFESTAÇÃO MATO:

MÁQUINAS UTILIZADAS:

5 – MÉTODO ESTATÍSTICO:

Nº AMOSTRA

DELINEAMENTO

6 – PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM

7 – IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA NO CAMPO:

8 – IDENTIFICAÇÃO E REGISTRO DA AMOSTRA NO LABORATÓRIO:

9 – PREPARO DA AMOSTRA:

SECAGEM / DETERMINAÇÃO DE UMIDADE

PESAGEM E MANIPULAÇÃO DE PREPARO

PEREIRAMENTO / TAMISAMENTO

ESTRATIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DIMENSIONAL

COLETA DE UNIDADES

10 - OBTENÇÃO DE IMAGENS:

IDENTIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE IMAGENS

PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

OBTENÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS

11 – ANALISE VISUAL DE IMAGEM

- IDENTIFICAÇÃO DA FOTO

- IDENTIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS

- FORMA:

- ANGULAÇÃO:

- COR (HOMOGENEIDADE)

- RUGOSIDADE (TEXTURA COMPOSTA /SIMPLES)

- VAZIOS / POROS / FISSURAS

- PLANOS DE FRATURA

- ESTRUTURA BIOGÊNICAS (RAIZ/PORO/PUSTULA)

- SIMETRIA

- GRANULOS

- GRUMOS

- ARRANJAMENTO

12 – INTEGRAÇÃO DE DADOS PARA DETERMINAÇÃO DE VALORES FUZZY.

13 – PROCESSAMENTO ESTATÍSTICO

ESTATISTICA DESCRITIVA

FREQUENCIA

FREQUENCIA HIERARQUIZADA

CARTA DE CONTROLE (IMAGEM DA VARIABILIDADE)

ANALISE GRÁFICA

ANALISE DE CORRELAÇÃO

TÁBUA DE PROBABILIDADE

14 – PRESCRIÇÃO DO LAUDO

ANEXO 2. BASE DE REGRAS PARA FUZZYFICAÇÃO

Redondo	and	Rugoso	and	Atividade biológica presente	->	Muito consistente
Redondo	and	Rugoso	and	Atividade biológica parcial	->	Muito consistente
Redondo	and	Rugoso	and	Atividade biológica ausente	->	Consistente
Redondo	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica presente	->	Consistente
Redondo	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica parcial	->	Consistente
Redondo	and	liso	and	Atividade biológica ausente	->	Pouco consistente
Redondo	and	Liso	and	Atividade biológica presente	->	Pouco consistente
Redondo	and	Liso	and	Atividade biológica parcial	->	Pouco consistente
Redondo	and	Liso	and	Atividade biológica ausente	->	Inconsistente
Arredondado	and	Rugoso	and	Atividade biológica presente	->	Muito consistente
Arredondado	and	Rugoso	and	Atividade biológica parcial	->	Muito consistente
Arredondado	and	Rugoso	and	Atividade biológica ausente	->	Consistente
Arredondado	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica presente	->	Consistente
Arredondado	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica parcial	->	Consistente
Arredondado	and	liso	and	Atividade biológica ausente	->	Regular
Arredondado	and	Liso	and	Atividade biológica presente	->	Regular
Arredondado	and	Liso	and	Atividade biológica parcial	->	Regular
Arredondado	and	Liso	and	Atividade biológica ausente	->	Inconsistente
Sub angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica presente	->	Consistente
Sub angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica parcial	->	Consistente
Sub angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica ausente	->	Regular
Sub angular	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica presente	->	Regular
Sub angular	and	Parcialmente liso	and	Atividade biológica parcial	->	Regular
Sub angular	and	liso	and	Atividade biológica ausente	->	Regular
Sub angular	and	Liso	and	Atividade biológica presente	->	Regular
Sub angular	and	Liso	and	Atividade biológica parcial	->	Regular
Sub angular	and	Liso	and	Atividade biológica ausente	->	Inconsistente
Angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica presente	->	Regular
Angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica parcial	->	Regular

Angular	and	Rugoso	and	Atividade biológica ausente	->	Regular
Angular	and	Parcialmente	and	Atividade biológica	->	Pouco
Angular	and	liso	and	presente	->	consistente
Angular	and	Parcialmente	and	Atividade biológica parcial	->	Pouco
Angular	and	liso	and	Atividade biológica ausente	->	consistente
Angular	and	liso	and	Atividade biológica	->	Pouco
Angular	and	Liso	and	presente	->	consistente
Angular	and	Liso	and	Atividade biológica parcial	->	consistente
Angular	and	Liso	and	Atividade biológica ausente	->	Inconsistente
Prismático	and	Rugoso	and	Atividade biológica	->	Pouco
Prismático	and	Rugoso	and	presente	->	consistente
Prismático	and	Rugoso	and	Atividade biológica parcial	->	Pouco
Prismático	and	Rugoso	and	Atividade biológica ausente	->	consistente
Prismático	and	Parcialmente	and	Atividade biológica	->	Pouco
Prismático	and	liso	and	presente	->	consistente
Prismático	and	Parcialmente	and	Atividade biológica parcial	->	Pouco
Prismático	and	liso	and	Atividade biológica ausente	->	consistente
Prismático	and	liso	and	Atividade biológica	->	Inconsistente
Prismático	and	Liso	and	presente	->	Pouco
Prismático	and	Liso	and	Atividade biológica parcial	->	consistente
Prismático	and	Liso	and	Atividade biológica ausente	->	Inconsistente