

ESTATÍSTICA MULTIVARIADA EM MICROBIOLOGIA DO SOLO: REVISÃO SISTEMÁTICA DO PANORAMA, FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

MULTIVARIATE ANALYSES IN SOIL MICROBIOLOGY: SYSTEMATIC REVIEW OF OVERVIEW, FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

Higo Forlan Amaral ¹

Maria Elizabeth da Costa Vasconcellos ²

Inês Fumiko Ubukata Yada ²

RESUMO:

Os microrganismos do solo têm papel-chave na biosfera terrestre, atuando fundamentalmente na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem dos nutrientes às plantas, por estas razões, suas atividades são essenciais ao equilíbrio do meio ambiente. Na Microbiologia do Solo, assim como, todas as áreas da pesquisa científica exigem-se ferramentas eficientes e capazes de abranger o máximo de inferências, respostas e conclusões dos trabalhos científicos. Universalmente difundida, a estatística tornou-se ferramenta essencial para as ciências biológicas e agrárias, em algumas de suas subáreas científicas tal aceitação desencadeou um aumento correspondente no número e variedade de procedimentos estatísticos disponíveis. Os objetivos deste estudo foram avaliar o panorama e revisar os fundamentos estatísticos multivariados e suas aplicações em artigos científicos relacionados à Microbiologia do Solo, publicados no Brasil. Realizou-se uma Revisão Sistemática pelo tema “microbiologia do solo” no periódico científico Pesquisa Agropecuária Brasileira, entre os anos de 1999 a 2009. Do total de artigos avaliados, 15% do percentual dos artigos apresentaram um tipo análise multivariada, sendo que a análise de Agrupamento foi a mais utilizada, que focaram suas investigações em grupos de microrganismos funcionais do solo. Menos de 1% destes artigos apresentavam análises multivariadas com modelos matemáticos e testes de significância. Maior parte das análises multivariadas é de caráter exploratório, sendo que as perspectivas de análises com modelos matemáticos mais elaborados são amplas, que possam aplicar testes de significância e validarem matematicamente as hipóteses questionadas.

PALAVRAS-CHAVE: ecologia numérica; ferramentas estatísticas; pesquisa científica.

ABSTRACT:

Soil microorganisms have key role in the biosphere, primarily, on decomposing organic matter and cycling of nutrients for plants, for these reasons, their activities are essential to balance of the environment. In the scientific research, including Soil Microbiology requires tools efficient and able to cover as much of inferences responses and conclusions of the work. The statistic has become an essential tool for agricultural and biological sciences, and in some subareas such acceptance has triggered a corresponding increase in the number and variety of available statistical procedures. The objective this study was to evaluate multivariate the overview and applications of statistics models in Soil Microbiology scientific papers published in Brazil. A systematic review was held for the theme “soil microbiology” in the journal Pesquisa Agropecuária Brasileira scientific journal, between the years 1999 to 2009. Approximately, 15% applied multivariate model, mainly, Cluster exploratory analysis was performed in “microbial functional” studies and unless 1% of paper not used multivariate models and significant test. The most multivariate models is exploratory analysis with large panorama to use multivariate models with mathematical and significance test, and thus univariate models need of experimental planning to appropriate application.

KEYWORDS: numerical ecology, scientific research, statistical tools.

INTRODUÇÃO

Os microrganismos do solo têm papel-chave na biosfera terrestre, atuando primariamente na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem dos nutrientes às plantas, por estas razões, suas atividades são essenciais ao equilíbrio do meio ambiente e da biosfera terrestre (Moreira; Siqueira, 2006).

Com a vigente preocupação mundial para processos produtivos sustentáveis, a microbiota do solo contribui essencialmente para o equilíbrio da rede trófica ecológica por ser chave na reciclagem da matéria orgânica, e também, pelas interações harmônicas

¹ Professor Doutor do departamento de agronomia do Centro Universitário Filadélfia (UniFil), Av. Juscelino Kubitschek, 1626 - Cx Postal 196. CEP: 86.020-000, Londrina, PR. E-mail: higo.amaral@unifil.br (autor para correspondência).

² Pesquisadora Mestre do departamento de Biometria (ABI) do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Cx Postal 481, Londrina, PR, Brasil. E-mails: bethvasc@iapar.br, inesyada@iapar.br.

com as plantas, que dentre muitos benefícios auxiliam na produção de alimento sem o maior desgaste dos recursos naturais, colaborando diretamente com a fertilidade dos solos, e conseqüentemente, para a produção agrícola. Assim, a microbiologia, bioquímica e biotecnologia do solo são consideradas atualmente fundamentais áreas das ciências biológicas e agrárias. Diferentes métodos e metodologias são empregados para avaliar estudos microbiológicos no solo, desde simples quantificações numéricas de biomassa até avançadas caracterizações genéticas em determinado solo (**Kassem; Nannipieri, 1995; Ramette, 2007**).

Na Microbiologia do Solo, assim como, todas as áreas da pesquisa científica exigem ferramentas eficientes e capazes de abranger o máximo de inferências, respostas e conclusões dos estudos e trabalhos. Os profissionais da área avaliam rotineiramente interações complexas da ecologia e dinâmica microbiana no solo entre diferentes componentes bióticos, como as plantas, e componentes abióticos, como nutrientes do solo, e que posteriormente, resultarão em tomadas de decisões para ações em benefício ao meio ambiente e à agricultura.

O real objetivo da Estatística transcende à sua história e aos estudos de dados, o desenvolvimento desta ciência teve origem com aplicações práticas. Possivelmente, a Estatística firmou-se como nenhuma outra ciência, interagindo com diferentes áreas científicas, devido, principalmente, a sua característica e utilidade em analisar numericamente as problemáticas de diferentes áreas. Atualmente, as ferramentas estatísticas exploram diferentes faces da vida do homem, através de análises de dados para: censos e dinâmicas populacionais, na área da saúde auxiliando no desenvolvimento de novos fármacos, em fenômenos da biosfera, na experimentação agropecuária, na ecologia de organismos terrestres e aquáticos entre outros inúmeros exemplos.

50

Na Microbiologia do Solo existem diferentes e variados procedimentos e técnicas estatísticas utilizadas em estudos laboratoriais (*in vitro*) e/ou em campo (*in situ*). Embora tal diversidade indique ampla gama de “soluções” estatísticas para muitos dos questionamentos científicos, também se aumenta a dificuldade de adequar e utilizar corretamente os modelos e esquemas estatísticos, desencadeando, conseqüentemente, aplicações errôneas ou falta aprimoramento analítico (Hair et al., 1998).

Importante ressaltar que para alcançar a sustentabilidade ambiental e social exigida atualmente, necessita-se de interações entre tecnologias, políticas e outras atividades integradas, que aliem princípios sócio-econômicos e ambientais, a proteção dos recursos naturais, prevenção contra degradação do solo e da água (Smyth; Dumanski, 1993). O estudo de ciências básicas é alicerce para o desenvolvimento e aplicabilidade de novas tecnologias, mesmo que aparentemente distante dos avanços tecnológicos.

Os objetivos deste estudo foram avaliar o panorama e revisar os fundamentos estatísticos multivariados e suas aplicações de em artigos científicos relacionados à Microbiologia do Solo, publicados no Brasil entre os anos de 1999 a 2009.

MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem metodológica deste trabalho fundamentou-se em uma Revisão Sistemática de artigos que abordam diferentes subáreas da Microbiologia do Solo.

Uma RS é definida por:

[...] revisão planejada para responder a uma pergunta específica e que utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos, e para coletar e analisar os dados destes estudos incluídos na revisão (Castro, 2001, p. 1).

Utilizou-se o Portal Brasileiro da Informação Científica disponibilizado pela Coordenação de Desenvolvimento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação Brasileira (Brasil, 2009), devido à acessibilidade para as Instituições de Educação de Nível Superior e a Institutos de Pesquisas. Pelo tema “Microbiologia do Solo” ser interdisciplinar e de grande abrangência nas ciências biológicas e agrárias, delimitou-se esta RS no periódico científico Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) entre os anos de 1999 a 2009, disponibilizado pela base “*Scielo* Brasil”, que tem o objetivo de:

[...] proporcionar um amplo acesso a coleções de periódicos como um todo, aos fascículos de cada título de periódico, assim como aos textos completos dos artigos, onde acesso aos títulos dos periódicos e aos artigos pode ser feito através de índices e de formulários de busca (Scielo, 2010).

Neste acervo de periódicos eletrônicos, do total de 209 listados como títulos correntes, 16 são correlacionados com ciências biológicas e/ou agrárias. O periódico PAB tem maior número de exemplares publicados entre os demais relacionados à área desta RS, com ISSN/2009 = 0,681 – o segundo maior índice também entre os periódicos que abrangem tais áreas. Complementou-se o estudo com outras bibliografias relevantes ao assunto disponibilizados pelos acervos das bibliotecas públicas universitárias, centros de pesquisa e também disponível na base de Periódicos da CAPES.

A seleção dos artigos baseou-se: na seção de Microbiologia do periódico, termos indexados no título e nas palavras-chave, contendo algum termo relacionado à Microbiologia do Solo. Outras formas de busca também foram realizadas com em seções de Genética, Solo, Notas Científicas e outras por termos de indexação e palavras-chave relacionadas à área.

Para apresentação, análises e interpretações da RS utilizou-se estatística descritiva, haja vista, o não aprofundamento do trabalho para metanálise, que demandaria o detalhamento dos dados junto aos autores e não sendo o objetivo da RS (Castro, 2001). As abordagens analíticas dos artigos científicos foram realizadas segundo a natureza e aplicação dos modelos multivariados, sendo analisada a adequação das técnicas utilizadas, suas aplicações e possíveis perspectivas a trabalhos científicos relacionados à Microbiologia do Solo.

Resultados e Discussão

Do total de 134 artigos analisados, entre 1999 e 2009, apenas 10% utilizaram análises multivariadas em estudos relacionados a grupos de “microrganismo funcional”, tais como: *Rhizobium spp.* e fungos micorrízicos arbusculares (Amaral, 2010). As Análises Multivariadas com cunho Exploratório (AME) foram observadas com maior frequência nesta RS, sendo onze artigos que empregaram Análise de Agrupamento (AAg) (ou Cluster) e três que utilizaram análise de Componentes Principais (ACP) (Tabela 1).

Apenas dois trabalhos utilizaram Análise Multivariada com Teste de Significância (AMTS) do tipo: Análise de Correlação Canônica (ACC) e Análise Linear Discriminante (ALD) (Tabela 2).

51

R
E
V
I
S
T
A

TABELA 1 – Número de modelos estatísticos multivariados exploratórios empregados em artigos relacionados à Microbiologia do Solo publicados no Brasil, no periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira entre os anos de 1999 a 2009.

Abordagem de investigação microbiológica	Modelos estatísticos multivariados exploratórios				
	AAg	ACP	AEM	ACoP	AC
Quantificação	0	1	0	0	0
Atividade	0	0	0	0	0
Diversidade	3	1	0	0	0
Microrganismos funcionais	8	1	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0
Total	11	3	0	0	0

Sendo: AAg: Análise de Agrupamento (ou Análise de Cluster), ACP: Análise de Componentes Principais, AEM: Análise de Escalas Multidimensionais, ACoP: Análise de Coordenadas Principais, AC: Análise de Correspondência.

Nesta última década, os estudos em Microbiologia do Solo publicados no Brasil têm aprofundando e abrangido grande número de variáveis respostas, principalmente pelas complexidades experimentais. Os estudos nesta área podem combinar múltiplas variáveis microbiológicas, e suas interações com plantas, elementos químicos e físicos do solo, além de diferentes condições experimentais *in vitro* e *in situ*, que, consideravelmente, aumentam a combinação dos tratamentos a serem considerados estatisticamente.

52

O conjunto de dados gerados nos estudos que abordam múltiplas variáveis, diferentes espaços amostrais e tratamentos experimentais geram uma complexa matriz de dados, tornam difíceis de analisar devido o grande número de medidas e “fatores” a serem considerados (Ramette, 2007). Embora as análises e modelos multivariados sejam amplamente difundidos nas ciências exatas, observou-se que suas aplicações em estudos de Microbiologia do Solo necessitam de maior exploração nas publicações brasileiras.

Principais Modelos Multivariados

Análise de agrupamento (ou análise de cluster)

Os artigos que utilizaram Análise de Agrupamento (AAg) ou Cluster tiveram enfoque em análise de dados com características genéticas, com caráter matemático-estatístico qualitativo ordinal (Amaral et al., 2010).

Análise de Agrupamento (AAg) é uma técnica analítica para desenvolver subgrupos significativos de indivíduos ou objetos. Especificamente, o objetivo é classificar uma amostra de entidades (indivíduos ou objetos) em um pequeno número de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre as entidades (Hair et al., 2005).

Geralmente, estes “perfis genéticos” são analisados com matrizes de presença e ausência, baseado em índices ou coeficientes de similaridade ou distâncias. O índice de Jaccard foi mais utilizado para avaliar similaridades ou distâncias dos grupos e objetos de estudos como Souza et al. (2008), Ferreira et al. (2008), Jesus et al. (2005), Junior et al. (2006), Lima et al. (2005) que utilizaram o método da média aritmética não ponderada,

conhecido pela sigla UPGMA. Outros índices (ou coeficientes) foram observados, como: índice de Bray Curts no estudo de Perin et al. (2004) e coeficiente “Simple Matching” em Rodrigues et al. (2006).

Existe relativa subjetividade na escolha de uma “medida” de similaridade, importante ressaltar, que esta escolha, demanda planejamento prévio considerando a natureza das variáveis (discreta, contínua, qualitativa, quantitativa e etc.) ou as escalas de medida (nominal, ordinal, intervalar e etc.) e o objetivo do estudo. Geralmente, uma AAg requer “medidas” com propriedades matemáticas específicas; acessibilidade computacional – a escolha da “medida” requer a disponibilidade pelo “software” utilizado ou a facilidade de cálculo.

Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é amplamente empregada em estudos fenotípicos, genotípicos, padrões geográficos e sazonalidade, assim como, avaliação de múltiplos ambientes com múltiplas variáveis (Ramette, 2007). A ACP pode ser útil nos trabalhos que envolvem matrizes mais complexas de dados. Investigando comunidades bacterianas na rizosfera de diferentes cultivares de batata, Ferreira et al. (2008) demonstraram boa aplicabilidade de ACP, combinando variáveis microbianas de caráter matemático qualitativo e discreto. Estes autores conseguiram explorar o perfil bacteriano destes solos rizosféricos, com múltiplas combinações de tratamentos e variáveis. Já Silva et al. (2009) investigaram diferentes variáveis do solo de caráter matemático quantitativo contínuo, avaliaram o funcionamento biológico e microbiano de solos do cerrado brasileiro com plantios florestais, utilizando ACP para ordenar e explorar tais ambientes com múltiplas variáveis de caráter edáfico distinto, dessa maneira, demonstraram quais variáveis foram mais significativas em cada ambiente.

A ACP baseia-se em combinações de variáveis lineares aleatórias, que representa uma seleção de um sistema de coordenadas geométricas a partir dos dados originais. Tais coordenadas geram novos eixos denominados componentes principais, que simulam direções com máxima variabilidade e fornecem uma descrição simplificada e parcimoniosa da variância total do conjunto de dados (matriz de variância ou correlação) (Johnson; Wichern, 1988). A ACP pode resumir os componentes principais, condensando o maior número de informações possíveis em menor número de dimensões, e dessa forma, podem aprimorar as conclusões e tomadas de decisões a respeito do conjunto de dados. O total de variância explicada pelos Eixos Principais ou Autovalores (“Eigenvalues”) condensa o percentual de variância do conjunto de dados em cada plano geométrico dos n planos gerados (Legendre; Legendre, 1998; Ramette, 2007).

Deve-se focar em alguns pontos importantes para não incorrer em possíveis erros de interpretação neste tipo de análise, primeiro, observar o maior percentual acumulativo de variância explicado pelos autovalores, quanto maior percentual em menor número de autovalores, menores serão as combinações dos n planos geométricos e suas representações gráfica se tornarão simplificadas. E Segundo, analisar cuidadosamente como os objetos foram distribuídos graficamente e suas relevâncias em cada autovalor, neste ponto é importante o conhecimento do pesquisador a respeito das variáveis explicativas originais e dos tratamentos aplicados, pois auxilia em determinar qual objeto ou “descriptor” será mais relevante no estudo. Por último, atribuir “denominações” aos autovetores plotados, considerando as observações das variáveis originais, das variáveis sintéticas, dos tratamentos estatísticos e condições de estudo.

Análise de correlação canônica

A Análise de Correlação Canônica (ACC) consideram dois ou mais conjuntos de matrizes de dados, é uma análise vantajosa em verificar a relação entre os conjuntos de dados, como condições ambientais podem afetar determinada distribuição de espécies de microrganismo (Legendre; Legendre, 1998). Neste tipo de análise, encontrou-se apenas um artigo (Maluche-Baretta et al., 2006) com aplicação de ACC (Tabela 3). Os princípios da ACC baseiam-se em correlação entre combinações lineares de variáveis de uma matriz de dados com combinações lineares de variáveis de outra matriz, gerando pares de combinações lineares – “variáveis canônicas” e suas correlações denominadas “correlações canônicas” (Johnson; Wichern, 1988). Contudo, ACC deve ser aplicada cuidadosamente, segundo Legendre e Legendre (1998) quando os objetos em estudo são descritos por dois conjuntos (matrizes) de descritores quantitativos, pela dificuldade em explorar a estrutura multidimensional do conjunto de dados e demonstrar a correlação entre as funções lineares das matrizes de descritores.

Análise linear discriminante

A Análise Linear Discriminante (ALD) é um método de modelagem linear, que inicia agrupando um conjunto de objetos, já conhecido, e tenta determinar a extensão de outros descritores. Pode-se iniciar com uma análise exploratória, como agrupamento e verificar por análise de variância, se confirmado o teste de significância aplica-se “funções discriminantes” para testar o peso discriminante dos “descritores” (Legendre; Legendre, 1998). Podem-se considerar duas aplicações básicas para ALD: (i) obter uma equação linear para aplicar novos objetos para um dos estádios de classificação; (ii) determinar a contribuição dos “descritores” explorados no estudo;

Análises multivariadas são métodos estatísticos que exploram simultaneamente múltiplas medidas sobre cada objeto sob investigação, na qual, qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis, de certo modo, pode ser considerada análise multivariada (Hair Jr et al., 2005). Muitas técnicas multivariadas são extensões das análises univariadas e bivariadas, sendo ferramentas complementares para auxiliar pesquisadores a extrair o máximo das inferências e conclusões do problema em questão. Análise de dados originados de estudos experimentais e/ou pesquisa científica normalmente sugere uma explicação de um fenômeno ou “objetos de estudos”. Ao longo deste processo iterativo de análise dados, algumas variáveis podem ser adicionadas ou excluídas do estudo, decorrente da necessidade de compreender as relações entre muitas variáveis, o que torna a análise multivariada um sujeito inerentemente trabalhoso e complexo (Johnson; Wichern, 1988).

Entre poucos trabalhos avaliados nesta RS o estudo realizado por Maluche-Baretta et al. (2006) utilizou ACC para investigar atributos microbiológicos e químicos do solo entre diferentes sistemas de produção de macieiras, utilizou análises multivariadas com teste de significância (Tabela 2). Neste estudo, os autores conseguiram pela ACC avaliar quais variáveis microbiológicas mais contribuíram para discriminar os ambientes estudados. Complementarmente, estes autores utilizaram Análise Canônica Discriminante (ACD) para representar graficamente os padrões gerados pelas Funções Canônicas, também conhecidas como Análise Linear Discriminante (ALD), entre os atributos do solo e diferenciá-los entre os ambientes estudados, além das representações ALD demonstra a relevância (ou peso) de cada atributo através de diferentes coeficientes. Maluche-Baretta et al. (2006) avaliando atributos microbiológicos e químicos do solo, como

54

descrito anteriormente, utilizaram as contribuições de cada atributos para “discriminar” os ambientes, e assim, pontuar sobre as variáveis utilizadas.

Outras técnicas multivariadas com teste de significância em perspectiva na microbiologia do solo

De maneira geral, as técnicas multivariadas de análises de dados devem basear-se nas características das variáveis, na qualidade dos dados e no prévio planejamento experimental, sendo quando atingido os embasamentos matemáticos e estatísticos pode-se aplicar uma modelagem estatística aprimorada (Tabela 2). Ressaltando que se deve considerar a particularidade de cada conjunto de dados em determinada pesquisa (Hair et al., 2005).

Análise de fatores (ou fatorial)

A Análise de Fatores (ou Fatorial) (AF) é uma técnica de interdependência, que considera todas as variáveis simultaneamente e relacionado-as entre si, empregando ainda o conceito da variável estatística, a composição linear. Examina-se pela AF os padrões ou relações latentes, denominado de “fatores”, para um grande número de variáveis e determinar se a informação pode-se reduzir a um conjunto menor de fatores ou componentes. Nesta técnica multivariada, identifica-se as dimensões separadas da estrutura dos dados e determina-se o grau em que cada variável é explicada em cada dimensão. Complementarmente, resumi-se os dados obtendo os fatores (dimensões latentes) que os descrevem em um número menor de conceitos do que as variáveis originais (Hair et al., 2005). Importante ressaltar uma diferença matemática entre a AF e Análise de Componentes Principais (ACP). Em ACP considera a variância total e determina fatores que contêm pequenas proporções de variância única. Em AF considera a variância comum entre as variáveis (comunalidades), sendo esta parte da variância total, na qual não considera a específica e de erro (Hair et al., 2005). A aplicabilidade deste tipo de variável foi demonstrada por Amaral, H. F. (2010) quando estudado o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e suas interações com características químicas de macro e microelementos em solos com diferentes cultivos de videira. Neste trabalho, relata-se a redução do número de variáveis para dois fatores que maximizaram a correlação entre as variáveis microbiológicas com as químicas do solo.

55

TABELA 2 – Número de modelos estatísticos multivariados com teste de significância empregados em artigos relacionados à Microbiologia do Solo publicados no Brasil, no periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira entre os anos de 1999 a 2009.

Abordagem de investigação microbiológica	Modelos estatísticos multivariados com teste de significância				
	AF	MANOVA	ACC	ALD	ARM
Quantificação	0	0	1	1	0
Atividade	0	0	0	0	0
Diversidade	0	0	0	0	0
Microrganismos funcionais	0	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	1	1	0

Sendo: AF: Análise de Fator, MANOVA: Análise de Variância Multivariada, ACC: Análise de Correlação Canônica, ALD: Análise Linear Discriminante, ARM: Análise de Regressão Multivariada.

R
E
V
I
S
T
A

Análise multivariada de variância (MANOVA)

A MANOVA é uma extensão da análise de variância (ANOVA) para estudar simultaneamente mais de uma variável dependente, e dessa forma, avaliar as diferenças entre médias de grupos. É uma técnica de dependência que mede as diferenças para duas ou mais variáveis dependentes numéricas, com base em um conjunto de variáveis categóricas (não-métricas) que resultaram em variáveis independentes. Na prática, a MANOVA servirá como extensão da ANOVA possibilitando avaliar as diferenças entre médias de grupos (HAIR et al., 2005).

Quando se deseja verificar diferentes variáveis dependentes de um mesmo experimento através da ANOVA, mesmo com o controle experimental, pode gerar-se uma taxa significativa de erro Tipo I. Aplicando a MANOVA pode manter-se o controle sobre a taxa de erro experimental. Esta técnica também pode detectar possíveis combinações entre variáveis dependentes, que outras técnicas simples excedem o nível de análise (HAIR et al., 2005). Suponha-se que para verificar o efeito do tipo de vegetação, ou cobertura de solo na composição de determinadas espécies de microrganismos pode-se aplicar a MANOVA, pois permite analisar grupos distintos e a significância da variância entre si.

Análise de regressão multivariada (ARM)

Entre as estratégias para elaboração de índices de qualidade de solo está a construção de modelos orientados por análises de componentes principais (ACP) (Andrews et al., 2002) ou de regressão múltipla (Trasar-Cepeda et al., 1998; Chaer et al., 2009).

56

Por exemplo, Trasar-Cepeda et al. (1998) sugeriram que a matéria orgânica de solos não perturbados (sob vegetação nativa) está em equilíbrio com várias propriedades biológicas e bioquímicas do solo. Esse equilíbrio pôde ser expresso por uma equação de regressão linear múltipla que estimou o conteúdo total de N do solo em função do C da biomassa microbiana, da capacidade de mineralização de N e das atividades de fosfatase, β -glucosidase e urease ($R^2=0,97$). Desse modo, esses autores propuseram um índice bioquímico de qualidade de solo calculado a partir dos teores reais e estimados de N do solo (relação N-medido/ N-estimado).

Estudos posteriores corroboram a validade desse índice para indicar a degradação ou o distúrbio de solos afetados pelo manejo, mineração ou contaminação com efluentes orgânicos e metais pesados (Leiros et al., 1999; Trasar-Cepeda et al., 2000). Utilizando a mesma estratégia proposta por Trasar-Cepeda et al. (1998) Chaer et al. (2009) observaram ligação entre os teores de variáveis química do solo correlacionadas com variáveis microbiológicas em diferentes condições ambientais, ou seja, por ARM conseguiram aperfeiçoar seus estudos abrangendo matrizes de dados de diferentes características.

Os estudos em Microbiologia do Solo necessitam de alternas de análises que auxiliem no aprofundamento dos resultados de pesquisa. Nesta RS (entre 1999 e 2009) os modelos estatísticos multivariados são pouco explorados nos artigos relacionados à Microbiologia do Solo, sendo que apenas dois artigos apresentaram análises com modelo matemático definido e/ou com teste de significância, tais como: Análise Fatorial, Análise Multivariada de Variância e de Regressão Multivariada. As principais análises utilizadas são de cunho exploratório que fornecem informações relevantes para estudos subsequentes, porém, análises mais elaboradas com testes de significâncias que demandam modelos matemáticos poderiam ser utilizadas com maior frequência.

CONCLUSÕES

A pesquisa científica com enfoque na Microbiologia do Solo necessita de aperfeiçoamento em suas aplicações estatísticas. O planejamento e a análises de dados são decisivos para tal melhoria, pois são bases para estudos bem sucedidos.

O uso restrito de técnicas multivariadas reside no fato de que esse tipo de análise requer conhecimento de álgebra de matrizes e funções matemáticas para aplicação e interpretação dos resultados. Além de demandarem de planejamento para adequada aplicação.

Evidencia-se a importância de aplicações e aprofundamento de técnicas estatísticas e do trabalho multidisciplinar para evolução do emprego de análises multivariadas em estudos de Microbiologia do solo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, H. F., YADA, I. F. U., VASCONCELLOS, M. E. C. *Classificação matemático-estatística de variáveis relacionadas a indicadores microbiológicos do solo*. 4.º Congresso Nacional de Extensão Universitária: Inovações Sustentáveis. Universidade Norte do Paraná. Londrina, out de 2010.
- BRASIL, 2009. Ministério da Educação. *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*. Último acesso 02 de Julho de 2010.
- CASTRO, A. A. Revisão Sistemática e Meta-análise. *Compacta: temas de cardiologia*, v. 3, n. 1, p. 5-9, 2001.
- FERREIRA, D. F. *Estatística Multivariada*. 1. ed., Lavras-MG: UFLA, 2008.
- FERREIRA, E. P. D. B., et al. Rhizosphere bacterial communities of potato cultivars evaluated through PCR-DGGE profiles. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 43, n. 5, p. 605-612, 2008.
- HAIR Jr, J. F., et al. trad. SANTA'NNA, A. S., NETO, A. C. *Análise multivariada de dados*. 5. ed., Porto Alegre. Editora Bookman, 2005.
- JESSUP, C., FORDE, S. E., BOHANNAN, B. J. M. Microbial experimental systems in ecology. *Advances in Ecological Research*. v. 37. p. 273 – 307, 2005.
- JESUS, E. D. C., Diversidade de bactérias que nodulam siratro em três sistemas de uso da terra da Amazônia Ocidental. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 40, n. 8, p. 769-776, 2005.
- JOHNSON, R., WICHERN, D.W. *Applied multivariate statistical analysis*. 2nd ed. Prentice-Hall: Entrelinhanational edition, 1988.
- JUNIOR, F. B. D. R., REIS, V. M., TEIXEIRA, K. R. D. S. Restrição do 16S-23S DNAr intergênico para avaliação da diversidade de *Azospirillum amazonense* isolado de *Brachiaria* spp. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 41, n. 3, p. 431-438, 2006.
- KASSEM, A., NANNIPIERI, P. *Methods in Applied Solo Microbiology and Biochemistry*. p 1-4. 1995.
- LEGENDRE, Pierre, LEGENDRE, Louis. *Numerical ecology*. 2nd English ed. Elsevier, Amsterdam. 1998.

57

R
E
V
I
S
T
A

LIMA, A. S., PEREIRA, J. P. A. R., MOREIRA, F. M. D. S. Diversidade fenotípica e eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. de solos da Amazônia. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1095-1104, 2005.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D., AMARANTE, C. V. T. D., FILHO, O. K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1531-1539, 2006.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed., atual e ampl. Lavras: Editora UFLA. 2006.

PERIN, L., BALDANI, J. I., REIS, V. M. Diversidade de *Gluconacetobacter diazotrophicus* isolada de plantas de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 39, n. 8, p. 763-770, 2004.

RAMETTE, Alban. Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbial Ecology*, v. 62, p. 142 – 160. 2007.

RODRIGUES, L. D. S., BALDANI, V. L. D., REIS, V. M., BALDANI, J. I. Diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* na cultura do arroz inundado. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 41, n. 2, p. 275-284, 2006.

SCIELO BRASIL, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-204X&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 02 de Julho de 2010.

SILVA, L. G. D., et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.

58

SMYTH, A. J., DUMANSKI, J. FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. World Resources Reports 73. Land and Water Development Division, FAO, Rome, 77 p. 1993.

SOUZA, L. A. B. D., BONNASSIS, P. P., FILHO, G. N. S., OLIVEIRA, V. L. D. New isolates of ectomycorrhizal fungi and the growth of eucalypt. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 43, n. 2, p. 235-241, 2008.