

**MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS APLICADA AO  
ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE QUALIDADE E DIVERSIDADE  
DA FAUNA NO SISTEMA SOLO-SERAPILHEIRA**

**PRÍSCILA HENRIQUES GOMES OLIVEIRA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE**

**DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ**

**MARÇO – 2016**

**MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS APLICADA AO  
ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE QUALIDADE E DIVERSIDADE  
DA FAUNA NO SISTEMA SOLO-SERAPILHEIRA**

**PRÍSCILA HENRIQUES GOMES OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Antonio Carlos Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

MARÇO – 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

48/2016

Oliveira, Priscila Henriques Gomes

Modelagem de equações estruturais aplicada ao estudo das relações entre qualidade e diversidade da fauna no sistema solo-serapilheira / Priscila Henriques Gomes Oliveira. – Campos dos Goytacazes, 2016.

117 f. : il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Solos. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Antonio Carlos Gama-Rodrigues.

Área de concentração: Solos e nutrição de plantas.

Bibliografia: f. 76-80.

1. VARIÁVEL LATENTE 2. MODELOS EQUIVALENTES 3. MODELOS MENSURÁVEIS 4. INVERTEBRADOS DO SOLO 5. VARIÁVEIS AMBIENTAIS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Solos II. Título

CDD 631.4

**MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS APLICADA AO  
ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE QUALIDADE E DIVERSIDADE  
DA FAUNA NO SISTEMA SOLO-SERAPILHEIRA**

**PRÍSCILA HENRIQUES GOMES OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 31 de março de 2016

Comissão Examinadora

---

Prof. Claudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF

---

Prof<sup>a</sup>.Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) - UENF

---

Prof. Marcus Vinícius da Silva Sales (D.Sc., Produção Vegetal) - SEEDUC

---

Prof. Antonio Carlos Gama-Rodrigues (D.Sc., Ciência do Solo) – UENF  
(Orientador)

## **DEDICO**

A Deus;

À minha amada filha Ana Luiza e ao meu esposo Jossandro, pelo amor e apoio em todos os momentos de minha vida e por ter compreendido a ausência durante todo o período de estudo;

À minha mãe Helma e ao meu irmão Rodrigo;

À minha cunhada Rayanna e querida sobrinha Layla;

Aos meus amigos e demais familiares.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado a oportunidade de ingressar neste curso e de concluí-lo, por guiar minha vida e dar saúde e força para continuar;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Solos, pela confiança em mim depositada desde o início para realizar curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para a condução desse trabalho;

A minha filha, esposo, mãe e demais familiares que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, com apoio, ajuda e amor;

Ao professor Antonio Carlos Gama-Rodrigues, pela orientação, pela dedicação e pelos ensinamentos durante o curso;

À professora Emanuela Foriestieri da Gama-Rodrigues, pelo apoio, pela ajuda e pelos ensinamentos durante todo curso;

Ao professor Paulo Sérgio Dias da Silva, do LCMAT/UENF, pela ajuda, pelos ensinamentos e pela dedicação, não só neste curso, mas durante toda minha vida acadêmica desde a graduação, incluindo o mestrado e por fim o doutorado.

Aos membros da banca examinadora;

Ao professor Marcus Vinicius, que esteve durante todo o tempo me ajudando, apoiando e por compartilhar seu conhecimento;

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Solos (LSOL);

A Maria Kellen por me fornecer o banco de dados para realização da tese e pela atenção dada;

A todos que mesmo não mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos!

## **BIOGRAFIA**

PRÍSCILA HENRIQUES GOMES OLIVEIRA, filha de Pedro de Oliveira e Helma Henriques Gomes, nasceu em 01 de setembro de 1982, em Itapemirim, Estado do Espírito Santo, Brasil.

Em novembro de 2004, diplomou-se em Tecnólogo em Informática pelo Instituto Federal Fluminense (IFF), antigo CEFET-Campos, em Campos dos Goytacazes.

Em março de 2007, diplomou-se em Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ.

Em março de 2007, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia de Produção (Área de concentração: Pesquisa Operacional), bolsista CAPES, e em junho de 2009, diplomou-se Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Em abril de 2012, iniciou o Curso de Doutorado em Produção Vegetal - Linha de Pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas (área de concentração: Fertilidade do Solo e Ciclagem de Nutrientes), bolsista CAPES, e em março de 2016 defendeu esta tese, requisito indispensável para a obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	X
RESUMO .....	XV
ABSTRACT .....	XVIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Visão geral da modelagem de equações estruturais .....	7
2.2. Construção do modelo, as equações estruturais e a identificação do modelo .....	11
2.3. Métodos de estimação e índices de ajustes em MEE .....	15
2.3.1. Índices de ajuste absoluto .....	16
2.3.2. Índices de ajuste incremental .....	19
2.3.3. Índices para comparação entre modelos reespecificados .....	20
2.4. Análise do modelo de equações estruturais.....	21
2.4.1. Cargas fatoriais (betas das regressões) .....	21

2.4.2. Variância extraída (VE).....	22
2.4.3. Confiabilidade de construto (CR).....	22
2.5. Trabalhos desenvolvidos em ciências naturais .....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	34
4.1. Modelos com 4 construtos: qualidade e grupos de fauna no sistema solo-serapilheira.....	34
4.1.1. Desenvolvimento de modelos de mensuração com um construto.....	38
4.1.2. Desenvolvimento dos modelos estruturais com 2 construtos .....	41
4.1.3. Desenvolvimento de modelos estruturais com 4 construtos e com redução de variáveis mensuráveis .....	46
4.2. Modelo com 4 construtos: grupos de fauna e diversidade de fauna no sistema solo-serapilheira.....	53
4.3. Desenvolvimento dos modelos para cada grupo de fauna.....	59
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
APÊNDICE A – ANÁLISE DE MULTICOLINEARIDADE .....	82
APÊNDICE B – ANÁLISE DE TRILHA.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Simbologia básica da Modelagem de Equações Estruturais .....	9
Tabela 2: Siglas das variáveis mensuráveis coletadas por Moço et al. (2010)....	27
Tabela 3: Estatística descritiva do banco de dados original.....	28
Tabela 4A: Correlação de Pearson entre os grupos de fauna <sup>(*)</sup> e atributos químicos <sup>(**)</sup> da serapilheira (em negrito e grifado estão as correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.....	30
Tabela 4B: Correlação de Pearson entre os grupos de fauna <sup>(*)</sup> e atributos químicos e físicos <sup>(**)</sup> do solo (em negrito e grifado estão correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.....	31
Tabela 4C: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis dos grupos de fauna <sup>(*)</sup> solo e da serapilheira (em negrito e grifado estão correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.....	32
Tabela 4D: Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos da serapilheira <sup>(*)</sup> e os atributos químicos e físicos do solo <sup>(**)</sup> (em destaque, correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )) , com N=24.....	33
Tabela 5: Índices de ajuste dos modelos com 1 construto.....	41
Tabela 6: Índices de ajuste dos modelos com 2 construtos.....	46

Tabela 7: Índices de ajuste dos modelos com 4 construtos qualidade e grupos de fauna no sistema solo-serapilheira.....	52
Tabela 8: Índices de ajuste modelo fauna e a diversidade no sistema solo-serapilheira.....	58
Tabela 9: Índices de ajuste dos modelos grupos de fauna da serapilheira.....	66
Tabela 10: Índices de ajuste dos modelos grupos de fauna do solo.....	72

## **LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE B**

Tabela 1B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predador da serapilheira e independente: Demais grupos de fauna da serapilheira).....	85
Tabela 2B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predador do solo e independente: Demais grupos de fauna do solo).....	86
Tabela 3B: Coeficientes de Trilha (dependente: Micrófagos da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	86
Tabela 4B: Coeficientes de Trilha (dependente: Micrófagos do solo e independente: Qualidade do solo).....	87
Tabela 5B: Coeficientes de Trilha (dependente: Riqueza da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	87
Tabela 6B: Coeficientes de Trilha (dependente: Riqueza do solo e independente: Qualidade do solo).....	88

Tabela 7B: Coeficientes de Trilha (dependente: Insetos sociais da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	88
Tabela 8B: Coeficientes de Trilha (dependente: Insetos sociais do solo e independente: Qualidade do solo).....	89
Tabela 9B: Coeficientes de Trilha (dependente: Saprófitos da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	89
Tabela 10B: Coeficientes de Trilha (dependente: Saprófitos do solo e independente: Qualidade do solo).....	90
Tabela 11B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predadores da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	90
Tabela 12B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predadores do solo e independente: Qualidade do solo).....	91
Tabela 13B: Coeficientes de Trilha (dependente: Onívoros da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	92
Tabela 14B: Coeficientes de Trilha (dependente: Onívoros do solo e independente: Qualidade do solo).....	93
Tabela 15B: Coeficientes de Trilha (dependente: Herbívoros da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).....	93
Tabela 16B: Coeficientes de Trilha (dependente: Herbívoros do solo e independente: Qualidade do solo).....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Uso da terra de forma sustentável.....	3
Figura 2: Modelo 1 - modelo estrutural hipotético da qualidade e diversidade da fauna no sistema solo- serapilheira.....	5
Figura 3: Exemplo de modelo reflexivo.....	10
Figura 4: Exemplo de modelo formativo.....	10
Figura 5: Etapas a serem percorridas para a construção de um modelo de equações estruturais (Kaplan, 2000).....	13
Figura 6: Modelo 2 - modelo estrutural hipotético da qualidade e da fauna do sistema solo-serapilheira.....	35
Figura 7: Modelo 3 é o modelo de mensuração fauna-serapilheira com $X^2 = 8,65$ , $df = 9$ e $p = 0,47$ ; Modelo 4A é o modelo de mensuração fauna-solo com $X^2 = 17,80$ , $df = 10$ e $p = 0,06$ , foi fixada a variância do erro $e6 = 0$ ; Modelo 5A é o modelo de mensuração qualidade-serapilheira com $X^2 = 59,19$ , $df = 9$ e $p = 0,00$ ; Modelo 6A é o modelo de mensuração qualidade-solo com $X^2 = 90,17$ , $df = 15$ e $p = 0,00$ , fixada a variância do erro $e5=0$ . Variáveis de erros fixadas zero por apresentarem valores negativos. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais e os valores sobre as variáveis são o $R^2$ .....	39

Figura 8: Modelo 4B é o modelo de mensuração fauna-solo com  $\chi^2 = 5,79$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,56$ , foi fixado  $e6 = 0$ ; Modelo 5B é o modelo de mensuração qualidade-serapilheira com  $\chi^2 = 8,00$ ,  $df = 5$  e  $p = 0,98$ , fixado  $e5 = 0$ ; Modelo 6B é o modelo de mensuração qualidade-solo com  $\chi^2 = 14,51$ ,  $df = 9$  e  $p = 0,10$ , fixado  $e5 = 0$ . Variáveis de erros fixadas zero por apresentarem valores negativos. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 40

Figura 9: Modelo 7 - Modelo estrutural fauna-serapilheira e fauna-solo com  $\chi^2 = 8,00$ ,  $df = 5$  e  $p = 0,98$ , fixada a variância do erro  $e10 = e13 = 1$  e  $e12 = 0$ . Os valores das variáveis de erros fixados com 1 de forma padrão e zero quando o erro foi negativo. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 42

Figura 10: Modelo 8 - Modelo estrutural da qualidade-serapilheira e fauna-serapilheira com  $\chi^2 = 59,19$ ,  $df = 46$  e  $p = 0,09$ , fixada a variância do erro  $e13 = 1$  e  $e5 = 0$ . Os valores das variáveis de erros fixados com 1 de forma padrão e zero quando o erro foi negativo. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 43

Figura 11: Modelo 9 - Modelo estrutural fauna-solo e qualidade-solo com  $\chi^2 = 10,46$ ,  $df = 14$  e  $p = 0,73$ , não fixada nenhuma variância do erro. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 44

Figura 12: Modelo 10 - Modelo estrutural qualidade-serapilheira e qualidade-solo com  $\chi^2 = 5,07$ ,  $df = 9$  e  $p = 0,83$ , fixada a variância do erro  $e14 = 1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que

acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 45

Figura 13: Modelo 11 - modelo estrutural com  $\chi^2 = 61,45$ ,  $df = 46$  e  $p$ -value = 0,06, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = e_{15} = 1$  e  $e_4 = e_6 = e_{12} = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 49

Figura 14: Modelo 12 - modelo estrutural com  $\chi^2 = 61,45$ ,  $df = 46$  e  $p$ -value = 0,06, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = e_{15} = 1$  e  $e_4 = e_6 = e_{12} = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 50

Figura 15: Modelo 13 - modelo estrutural com  $\chi^2 = 61,836$ ,  $df = 47$  e  $p$ -value = 0,07, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = e_{15} = 1$  e  $e_4 = e_6 = e_{12} = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e a covariância entre os construtos qualidade-serapilheira e fauna-solo é não significativa, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 52

Figura 16: Modelo 14A - Modelo estrutural com  $\chi^2 = 109,45$ ,  $df = 78$  e  $p$ -value = 0,01, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = 0,1$  e  $e_{15} = e_{16} = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 55

Figura 17: Modelo 14B - Modelo estrutural com  $\chi^2 = 93,11$ ,  $df = 71$  e  $p$ -value = 0,04, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = 0,1$  e  $e_{15} = e_{16} = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ ..... 57

Figura 18: Modelo 14C - Modelo estrutural com  $\chi^2 = 60,364$ ,  $df = 59$  e  $p$ -value = 0,426, fixados valores de  $e_{13}=e_{14}=0,1$  e  $e_{15}=e_{16}=0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas

pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o $R^2$ .....	58
Figura 19: Modelo I - Grupo de fauna micrófagos da serapilheira com $\chi^2 = 2,58$ , $df = 5$ e $p = 0,76$ , com $e_4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	60
Figura 20: Modelo II - Grupo de fauna onívoros da serapilheira com $\chi^2 = 4,75$ , $df = 3$ e $p = 0,19$ , com $e_4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	61
Figura 21: Modelo III - Grupo de fauna predadores da serapilheira com $\chi^2 = 3,72$ , $df = 4$ e $p = 0,44$ , com $e_3 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	62
Figura 22: Modelo IV - Grupo de fauna saprófitos da serapilheira com $\chi^2 = 10,87$ , $df = 7$ e $p = 0,14$ , com $e_4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	63
Figura 23: Modelo V - Grupo de fauna herbívoros da serapilheira com $\chi^2 = 2,56$ , $df = 7$ e $p = 0,92$ , com $e_3 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	64
Figura 24: Modelo VI - Modelo estrutural qualidade da serapilheira relacionada com grupo de fauna insetos sociais da serapilheira com $\chi^2 = 12,21$ , $df = 10$ e $p = 0,27$ , com $e_4 = e_9 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	65
Figura 25: Modelo VII - Modelo estrutural da qualidade do solo com o grupo de fauna micrófagos do solo com $\chi^2 = 12,13$ , $df = 6$ e $p = 0,06$ , com $e_4 = e_{10} = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.....	67

Figura 26: Modelo VIII - Grupo de fauna onívoros do solo com  $X^2 = 10,43$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,16$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas..... 67

Figura 27: Modelo IX - Grupo de fauna predadores do solo com  $X^2 = 8,49$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,29$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas..... 68

Figura 28: Modelo X - Grupo de fauna saprófitos do solo com  $X^2 = 7,79$ ,  $df = 8$  e  $p = 0,45$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5%..... 69

Figura 29: Modelo XI - Grupo de fauna herbívoros do solo com  $X^2 = 4,283$ ,  $df = 3$  e  $p = 0,23$ , com  $e3 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas..... 70

Figura 30: Modelo XII - Grupo de fauna insetos sociais do solo com  $X^2 = 4,75$ ,  $df = 8$  e  $p = 0,78$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas..... 71

## RESUMO

OLIVEIRA, Priscila Henriques Gomes, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março, 2016. **Modelagem de equações estruturais aplicada ao estudo das relações entre qualidade e diversidade da fauna no sistema solo-serapilheira.** Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Gama-Rodrigues. Coorientadores: Prof<sup>a</sup>. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues e Prof. Dr. Paulo Sérgio Dias da Silva.

No presente estudo foi avaliado o potencial da Modelagem de Equações Estruturais (MEE) nas relações entre qualidade e diversidade da fauna no sistema solo-serapilheira em agroflorestas de cacau do Sul da Bahia, Brasil. Foi utilizado um banco de dados padronizado com 24 observações para cada variável mensurável.

Após análises preliminares e com base na teoria, desenvolveu-se o modelo hipotético para as relações entre qualidade, diversidade da fauna e grupos funcionais no sistema solo-serapilheira. O primeiro modelo ajustado com quatro variáveis latentes, foi composto pelos construtos qualidade da serapilheira, qualidade do solo, fauna da serapilheira e fauna do solo. Os grupos funcionais indicadores dos construtos de fauna do solo e fauna da serapilheira foram Micrófagos, Insetos Sociais, Saprófitos, Predadores, Herbívoros e Onívoros, sendo dados distintos, coletados no ambiente solo e no ambiente serapilheira. Os indicadores para qualidade do solo foram pH, Carbono, Nitrogênio, Fósforo, Soma de Bases (K + Ca + Mg), Argila e Densidade Aparente e para qualidade da serapilheira foram Fósforo, Nitrogênio, Carbono, Lignina, Celulose e Polifenóis.

O segundo modelo ajustado com quatro variáveis latentes, foi composto pelos construtos de fauna do solo, fauna da serapilheira, diversidade do solo e

diversidade da serapilheira. Os indicadores para os construtos de fauna do solo e fauna da serapilheira foram os mesmos grupos funcionais descritos no primeiro modelo e para os construtos diversidade do solo e diversidade da serapilheira utilizou-se um único indicador para cada construto, que foram as variáveis riqueza do solo e a riqueza da serapilheira, respectivamente.

Os modelos de mensuração, compostos pelas análises de cada construto individual do modelo hipotético, foram ajustados, confirmando o conceito teórico. No primeiro modelo ajustado com quatro variáveis latentes, das seis hipóteses postuladas, apenas a hipótese de que a qualidade da serapilheira tem uma relação direta e negativa com a qualidade do solo foi significativa, e por isso a única que foi aceita. Para o segundo modelo ajustado com quatro variáveis latentes, das três hipóteses postuladas apenas hipótese de que a diversidade da serapilheira exercia uma influência direta e positiva sobre a diversidade do solo foi não significativa e, portanto rejeitada. Para os dois modelos ajustados foram apresentadas reespecificações, que resultaram em inclusão ou exclusão de caminhos e na redução de variáveis mensuráveis, e assim, foi possível comparar os modelos e verificar que para o primeiro modelo ajustado encontrou-se um modelo equivalente e outro sem diferença estatisticamente significativa em relação ao modelo especificado inicialmente. E para o segundo modelo ajustado foi possível verificar um modelo estatisticamente melhor em comparação com o modelo inicialmente proposto.

Por fim, estudou-se um modelo para cada grupo de fauna, e neste caso, foi possível verificar as relações entre os indicadores de qualidade do solo ou da serapilheira em relação a cada grupo de fauna do solo ou da serapilheira, os resultados demonstraram o bom ajuste dos modelos e efeitos distintos entre os indicadores de qualidade para cada grupo de fauna, uma vez que as relações foram distintas.

Assim, concluiu-se que o uso da MEE, com inclusão de variáveis latentes, é aplicável à área de solos e nutrição de plantas, especificamente no estudo das relações entre qualidade e diversidade de fauna do solo e da serapilheira em sistemas agroflorestais de cacau, uma vez que os modelos foram ajustados. Porém, cabe ressaltar, que muitas vezes é possível melhorar o modelo através

das reespecificações, desde que respeitada a teoria que o fundamentou, e que os resultados obtidos representam o banco de dados estudado.

Palavras-chave: Variável Latente, Modelos Equivalentes, Modelos Mensuráveis, Invertebrados do Solo e Variáveis Ambientais.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Priscila Henriques Gomes, D.SC, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2016. **Structural equation modeling applied to study the relationships between quality and fauna diversity in soil-litter system.** Advisor: Prof. Dr. Antonio Carlos Gama-Rodrigues. Co-advisor: Prof<sup>a</sup>. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues and Prof. Dr. Paulo Sérgio Dias da Silva.

In the present study we evaluated the potential of structural equation modeling (SEM) in the relationships between quality and fauna diversity in soil-litter system in cacao agroforestry of South of Bahia, Brazil. Was used a standardized database with 24 observations for each measured variable.

After preliminary analysis and based on the theory, was developed the hypothetical model for the relationships between quality, fauna diversity and functional groups in soil-litter system. The first adjusted model with four latent variables, was composed of constructs litter quality, soil quality, litter fauna and soil fauna. The indicators functional groups of soil fauna and litter fauna constructs were Microbial Grazers, Social Insects, Saprophagous, Predators, Omnivores and Herbivores, and various data collected in the soil environment and litter environment. The quality indicators for soil were pH , Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Base Sum (K + Ca + Mg), Clay and Apparent Density and litter quality were Phosphorus, Nitrogen, Carbon, Lignin, Cellulose and Polyphenols .

The second model fitted with four latent variables, was composed constructs of soil fauna, litter fauna, soil diversity and litter diversity. The indicators for the soil fauna and litter fauna constructs were the same functional groups

described in the first model and soil diversity and litter diversity constructs was used a single indicator for each construct, which were the variables soil richness and litter richness, respectively.

The measurement models, comprised of analysis of each individual construct the hypothetical model were adjusted, confirming the theoretical concept. In the first model set with four latent variables, the six hypothesis postulate only the hypothesis that the litter quality has a direct negative relationships with soil quality significant, and therefore the one that was accepted. For the second model fitted with four latent variables, the three hypotheses postulated only hypothesis that the litter diversity exerted a direct and positive influence on soil diversity not significant and therefore rejected. For both adjusted models were presented new models, which resulted in the inclusion or exclusion of paths and reduction of measurable variables, and so it was possible to compare the models and find that for the first adjusted model found an equivalent model and one without difference statistically significant relative to the model specified initially. And for the second set model was verified statistically better model compared to the model initially proposed.

Finally, we studied a model for each fauna group and in this case it was possible to verify the relationships between soil quality indicators or litter quality indicators for each soil fauna group or litter, the results showed the good fit of models and distinct effects between the quality indicators for each fauna group, since the ratios were different .

Thus, it was concluded that the use of MEE, with the inclusion of latent variables, applies to the area of soils and plant nutrition, specifically on the relationships between quality and fauna diversity in soil-litter in cacao agroforestry systems, once the models have been adjusted . However, it should be noted that it is often possible to improve the model through new models since respected the theory that ground, and that the results represent the database studied.

Keywords: Latent Variable, Equivalent Models, Measurable Models, Soil Invertebrates and Environmental Variables.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é a camada superficial da crosta terrestre, sendo formado basicamente por minerais e matéria orgânica oriunda da decomposição de animais e plantas. O solo é fundamental para a vida de várias espécies e serve de fonte de nutrientes para as plantas, e a sua composição interfere diretamente na produção agrícola. Entre os fatores que contribuem para a formação do solo estão o clima, a incidência solar, a rocha que originou o solo, a matéria orgânica, a cobertura vegetal, entre outros (Silva et al., 2002).

Com a intensificação da prática agrícola no Brasil, o uso descontrolado de insumos agrícolas, a remoção da vegetação original, o tráfego de máquinas e implementos agrícolas trouxeram como consequência a degradação do meio ambiente comprometendo os recursos hídricos, a camada fértil e a biodiversidade dos solos.

Manhães et al. (2009) destacam que as coberturas vegetais, através da deposição de sua parte aérea, formam uma camada espessa de serapilheira sobre o solo, com vários extratos de matéria fresca e, ou em decomposição, capaz de abrigar uma população diversificada da fauna. A fauna contribui na decomposição de resíduos orgânicos e estruturação do solo. Em termos biológicos, pode-se dizer que a fauna do solo pode ser beneficiada pelo aumento na qualidade e na quantidade de resíduos vegetais, que servem de alimento e abrigo para os organismos.

A diversidade de fauna do sistema solo-serapilheira corresponde à grande variedade de organismos tais como: microfauna, mesofauna e macrofauna. As funções desempenhadas pela fauna e outros organismos do solo podem ser determinantes para a sustentabilidade dos sistemas de produção vegetal. A fauna é afetada por fatores como qualidade do solo e da serapilheira, bem como pelas práticas agrícolas que promovem alteração na abundância de organismos e diversidade de espécies, podendo representar uma alteração das próprias características do solo (Moço et al., 2005). As ações da macrofauna situam-se, principalmente, na primeira fase do processo de degradação da matéria orgânica, aumentando consideravelmente as superfícies específicas dos restos vegetais, criando-se, assim, condições favoráveis à ação dos micro-organismos, tais como bactérias e fungos (Silva et al., 2002).

Socarrás (1998) indica que alguns estudos têm destacado a hipótese de que a diversidade da fauna do solo, assim como a presença de um determinado grupo de organismo no sistema solo-serapilheira, pode ser usada como indicador da qualidade do solo, fornecendo informação sobre o grau de degradação ou de recuperação de uma área. Portanto, há necessidade de melhor entendimento sobre o modo em que esses organismos são afetados pelas práticas agrícolas e a relação entre os impactos provocados na biodiversidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Segundo Moço et al. (2010) na região Sul da Bahia, os sistemas agroflorestais têm sido apontados como uma alternativa econômico-ecológica viável de produção agrícola para a preservação da Mata Atlântica remanescente, particularmente através da cultura do cacau. O sistema agroflorestal é um sistema de uso da terra, onde árvores são cultivadas em consórcio com culturas agrícolas e, ou criação animal.

Neste sentido pode-se destacar a Figura 1 como um fluxograma para o uso de terra de forma sustentável, para que se tenha maior produção preservando o meio ambiente. Na Figura 1, o uso da terra possui uma influência direta na biodiversidade do sistema solo-serapilheira, que por sua vez, possui uma relação direta na estabilidade deste sistema, estando assim diretamente relacionado com a sustentabilidade para, por fim, gerar a produção e um meio ambiente sustentável.

Para obter a estabilidade do sistema destaca-se a importância da resistência, resiliência e adaptação. Segundo Noordwijk et al. (2004), ao falar sobre a estabilidade do sistema, pode-se pensar em muitos aspectos de um sistema e diferentes tipos de perturbações. A estabilidade é a capacidade de lidar com distúrbios que podem estar associados a conceitos como a "constância", que simplesmente afirma que um sistema permanece o mesmo ao longo do tempo. Na resistência o sistema e seus componentes suportam mudanças por completo. Na resiliência os componentes podem mudar, mas o sistema e os seus componentes retornam, com certa velocidade, para o seu estado original. Na adaptação o sistema e seus componentes acabam em outro estado ou domínio, em um nível mais alto, o sistema permanece essencialmente o mesmo, ou seja, ele funciona de uma forma semelhante ao original.

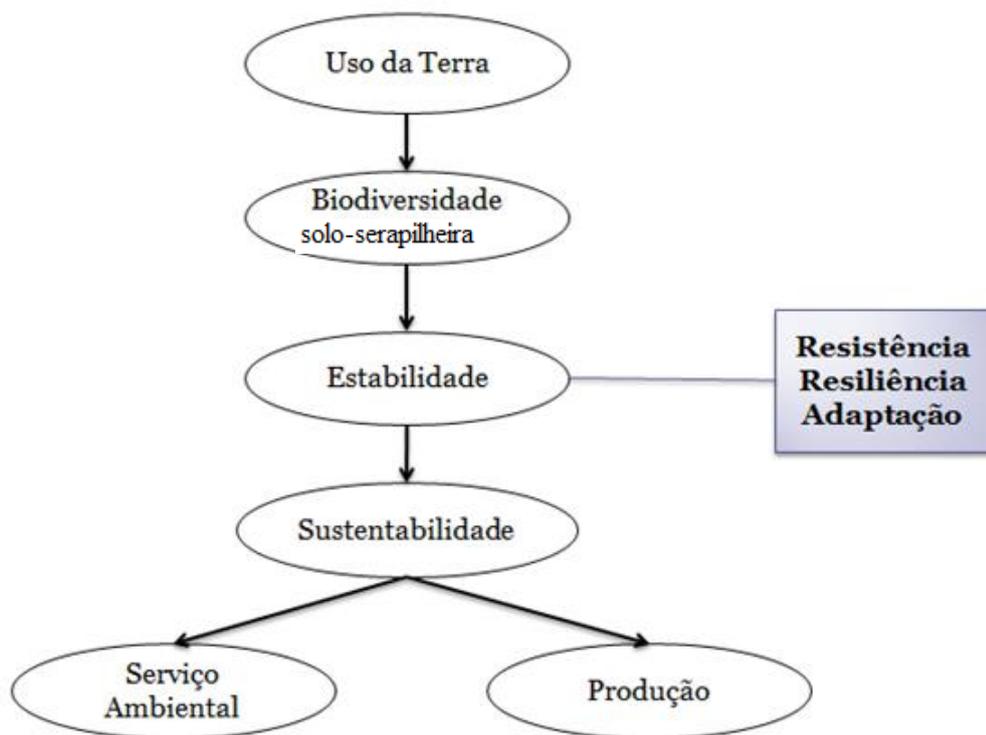


Figura 1: Uso da Terra de forma sustentável.

Assim, no presente estudo, foi usada a modelagem de equações estruturais (MEE) para avaliar modelos que descrevem as relações entre a qualidade, diversidade da fauna e grupos de fauna do sistema solo-serapilheira em agroflorestas de cacau.

A modelagem de equações estruturais é uma técnica utilizada para analisar um grupo de variáveis simultaneamente, testando hipóteses previamente estabelecidas com base em uma fundamentação teórica. Tal modelagem proporciona descrever, usando diagramas, um modelo para analisar simultaneamente múltiplos relacionamentos de dependência com eficiência estatística. Com isso, é possível explorar os resultados permitindo a representação de variáveis não mensuráveis, descrita por conceitos, conhecidos como variáveis latentes (ou construtos), sendo possível também verificar os erros de mensuração ocorridos durante o processo (Grace, 2006).

A variável latente é um conceito teorizado e não observado, sendo medido indiretamente pela análise da consistência entre múltiplas variáveis mensuráveis, chamadas de indicadores. A inclusão destas variáveis no modelo implica em uma melhora na estimação estatística dos parâmetros, representa melhor conceitos teóricos e explica o erro de mensuração (Hair et al., 2009).

Com base na Figura 1 desenvolveu-se o modelo de equações estruturais hipotético da Figura 2, que mostra, de forma simplificada, o modelo estrutural de qualidade do solo-serapilheira, diversidade de fauna do solo-serapilheira e grupos de fauna do solo-serapilheira.

A hipótese geral do Modelo 1 (Figura 2) é que os grupos de fauna do sistema solo-serapilheira e a qualidade do solo-serapilheira criam uma relação entre si (através da covariância) que forma um microambiente favorável para a diversidade de fauna do solo através da relação direta entre a diversidade de fauna da serapilheira e a diversidade de fauna do solo.

As hipóteses específicas para o Modelo 1 são:

H<sub>1</sub>: A fauna da serapilheira tem uma relação direta e positiva com a diversidade da serapilheira;

H<sub>2</sub>: A qualidade da serapilheira tem uma relação direta e positiva com a diversidade da serapilheira;

H<sub>3</sub>: A diversidade da serapilheira tem uma relação direta e positiva com a diversidade do solo;

H<sub>4</sub>: A fauna do solo tem uma relação direta e positiva com a diversidade do solo;

H<sub>5</sub>: A qualidade do solo tem uma relação direta e positiva com a diversidade do solo.

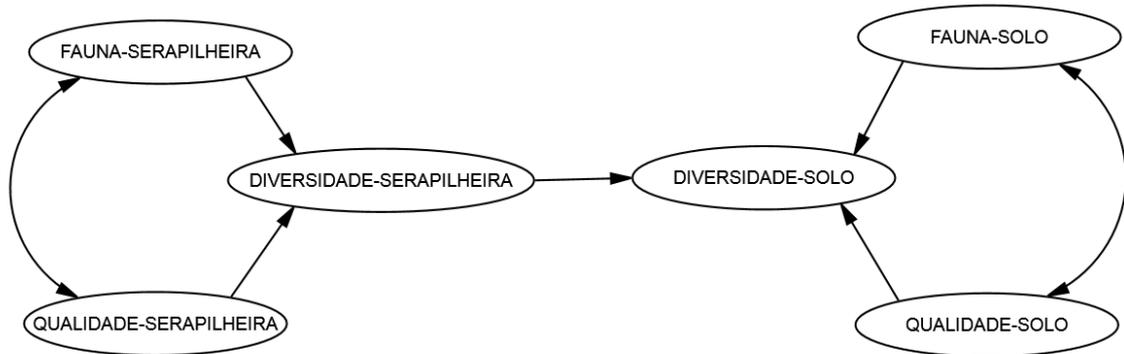


Figura 2: Modelo 1 - modelo estrutural hipotético da qualidade e diversidade da fauna no sistema solo-serapilheira.

O Modelo 1 é composto pelos construtos: qualidade do solo com sete indicadores (variáveis mensuráveis), sendo eles carbono, nitrogênio, pH, densidade aparente, soma de bases, fósforo e argila; qualidade da serapilheira com seis indicadores, são eles carbono, nitrogênio, fósforo, celulose, lignina e polifenóis; fauna da serapilheira e fauna do solo com seis indicadores cada um, sendo eles micrófagos, saprófitos, predadores, herbívoros, insetos sociais e onívoros, medidos em cada um dos compartimentos; e diversidade do solo e diversidade da serapilheira com um indicador cada, sendo a riqueza medida no ambiente solo e no ambiente serapilheira, respectivamente.

Com a quantidade de variáveis inseridas no Modelo 1, observou-se que tal modelo possui muitos parâmetros a serem estimados para um banco de dados de apenas 24 observações para cada variável mensurável, sendo considerada por Iacobucci (2009) uma baixa quantidade de dados. Assim, ao tentar estimar os parâmetros do modelo, o software indicou a ocorrência de um erro no ajuste, destacando que a matriz de covariância da amostra não é positiva definida. Esta

falha pode ser causada pelo tamanho do banco de dados. Para a estimação por máxima verossimilhança a matriz de covariância da amostra deve ser positiva definida para que o modelo seja identificado. Como o Modelo 1 não resultou em um ajuste, iniciou-se o estudo de modelos menores com quatro construtos, porém tomando por base tal modelo hipotético. Então, analisou-se os ajustes e as hipóteses dos modelos com quatro construtos, e pode-se verificar modelos ajustados, mas com algumas hipóteses aceitas e outras rejeitadas. Também foram desenvolvidos modelos mensuráveis de apenas um construto que se mostraram ajustados e demonstraram consistência confirmando o conceito teórico. Por fim, desenvolveu-se modelos para cada grupo de fauna, e neste caso, foi possível verificar as relações entre os indicadores de qualidade do solo ou da serapilheira em relação a cada grupo de fauna do solo ou da serapilheira. Tais modelos apresentaram bons ajustes e efeitos distintos entre os indicadores de qualidade para cada grupo de fauna, uma vez que as relações foram distintas.

Este trabalho tem por objetivo geral fazer um estudo de modelos que descrevem as relações entre qualidade e diversidade de fauna do solo e da serapilheira, usando MEE, para auxiliar pesquisadores a desenvolver técnicas mais eficazes para melhorar a fertilidade do solo e, ou conhecer melhor as relações entre o solo e serapilheira e assim auxiliar em um melhor uso da terra de forma sustentável em sistemas agroflorestais de cacau. Logo, também contribuindo com a divulgação da MEE na área de ciências naturais no Brasil, especificamente na área de solos e nutrição de plantas.

Como hipótese do trabalho tem-se que a MEE é um método científico capaz de representar e analisar relações de fenômenos complexos tais como as relações entre a qualidade do solo e da serapilheira, diversidade de fauna do solo e da serapilheira e grupos de fauna do solo e da serapilheira, sendo possível realizar análises exploratória e confirmatória de modelos elaborados com uma fundamentação teórica, e assim, conhecer melhor o solo estudado.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Visão geral da modelagem de equações estruturais

A modelagem de equações estruturais (MEE), em inglês *structural equation modeling* (SEM), surgiu na década de 60 vinda da evolução da modelagem de múltiplas equações. Pode-se dizer que o início da MEE foi em 1918, quando o geneticista Sewall Wright apresentou um trabalho sobre a técnica da análise de trajetórias, a qual só veio a ser exposta formalmente em uma série de artigos que datam do começo da década de 20 (Duncan, 1971). Esta forma de modelagem se consolidou no ano de 1970 quando o estatístico Karl Jöreskog teve a ideia de combinar a econometria e a psicometria em um único modelo formando a base da MEE (Klem, 2006).

O grande diferencial da MEE é a possibilidade de inserir nos modelos variáveis baseadas em conceitos, ou seja, variáveis que não podem ser mensuradas (observadas) diretamente. A inserção destas variáveis conceituais se dá através das chamadas variáveis latentes ou construtos, que são elaboradas a partir da utilização de variáveis mensuráveis, desde que tenham pelo menos uma característica em comum e que funcionem como indicadores dos conceitos trabalhados na esfera teórica (Byrne, 1994). A variável latente pode se relacionar ou correlacionar com as demais variáveis latentes e, ou variáveis mensuráveis incluídas na análise (Hox e Bechger, 1998) e a inclusão destas variáveis reduz os erros de medição e melhora a estimativa dos parâmetros (Grace, 2006).

A MEE é considerada uma técnica mais abrangente que as técnicas clássicas como análise de caminhos, análise fatorial e análise de regressão (Hoyle, 2012). A diferença entre estas técnicas clássicas e a MEE é que as clássicas se caracterizam por contemplar múltiplas variáveis independentes, mas só admitir uma única relação entre variáveis dependentes e independentes. A MEE, por sua vez, ultrapassa essa restrição permitindo que se avaliem diversas relações possíveis entre variáveis mensuráveis e variáveis latentes, sejam elas dependentes ou independentes (Kline, 1998).

A MEE representa a interpretação de uma série de relações hipotéticas de causa-efeito entre variáveis para uma composição de hipóteses, que considera os padrões de dependência estatística (Iacobucci, 2009). Os relacionamentos são descritos pela magnitude do efeito direto ou indireto que as variáveis independentes observadas ou latentes têm sobre as variáveis dependentes observadas ou latentes (Grace et al., 2010). Pode-se dizer que a MEE envolve problemas de regressão múltipla através de um diagrama de caminhos, que representa as associações entre variáveis, estimando os coeficientes de regressões e testando hipóteses (Pugesek e Tomer, 2003).

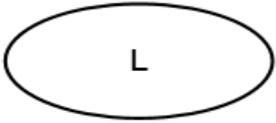
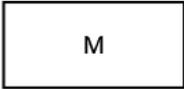
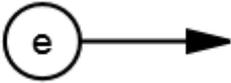
Destaca-se que o diagrama de caminhos é uma representação gráfica de um modelo de equações estruturais (Arhonditsis et al., 2006). Uma das principais vantagens desta representação é que as relações entre as variáveis podem ser visualizadas graficamente, sendo de fácil manuseio e compreensão, dispensando, assim, o uso das equações para execução em alguns softwares.

A Tabela 1 mostra a simbologia utilizada para construção do diagrama de caminhos do modelo usando MEE, onde se têm as variáveis latentes (L) que são representadas por círculos ou elipses e as variáveis mensuráveis ou observadas (M), sendo representadas por quadrados ou retângulos. Variáveis de erros ou variância dos erros (e) indicam a variância não explicada pelo modelo, sendo consideradas variáveis latentes, pois não são medidas diretamente, logo, também são representadas por círculos e elipses. A seta de relação direcional indica a relação de causa-efeito entre as variáveis e, por fim, a relação de covariância representada pela dupla seta (Grace et al., 2010). A utilização da covariância entre as variáveis de erro, desde que seja entre as variáveis adequadas, e não de forma indiscriminada ou aleatória, estabiliza e ajusta o modelo, pois tal

covariância significa que há variáveis que não estão presentes, mas que estão influenciando o modelo (Hair et al., 2009). Tais covariâncias podem ser inseridas com base nas correlações ou no sentido teórico do modelo.

No modelo as variáveis latentes ou mensuráveis podem ser chamadas de endógenas ou exógenas. As endógenas são as variáveis que recebem as setas direcionais e a elas devem sempre ter nestas variáveis atribuídas variáveis de erros. Nestas variáveis não é possível atribuir relações de covariâncias. Já as variáveis exógenas apenas saem às setas direcionais, podem ter relações de covariâncias e não se atribui variável de erro.

Tabela 1: Simbologia básica da Modelagem de Equações Estruturais.

Símbolo	Significado
	Variável latente.
	Variável observável.
	Relação direcional que indica uma relação causal.
	Covariância entre variáveis.
	Variável de erro de medição associado à variável mensurável ou à variável latente endógena. É uma variável latente.

Em MEE pode-se ter dois tipos de modelos, são eles: reflexivos ou formativos. O modelo reflexivo é baseado na ideia de que o construto latente é a causa das variáveis medidas e que o erro resulta de uma incapacidade de

explicar completamente essas medidas (Hair et al., 2009), como pode ser visto na Figura 3.

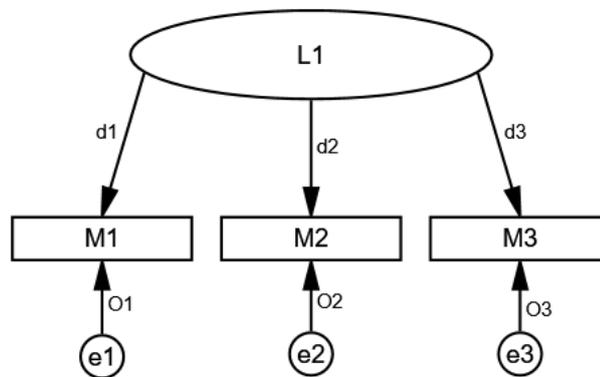


Figura 3: Exemplo de modelo reflexivo.

Onde M1, M2 e M3 são variáveis mensuráveis, L1 é a variável latente, d1, d2 e d3, são coeficientes estimados, O1, O2 e O3 são coeficientes dos erros e e1, e2 e e3 são as variáveis de variância de erro.

Já o modelo formativo, Figura 4, é baseado na suposição de que as variáveis medidas são a causa do construto. O erro neste caso é a incapacidade de explicar por completo o construto (Hair et al., 2009).

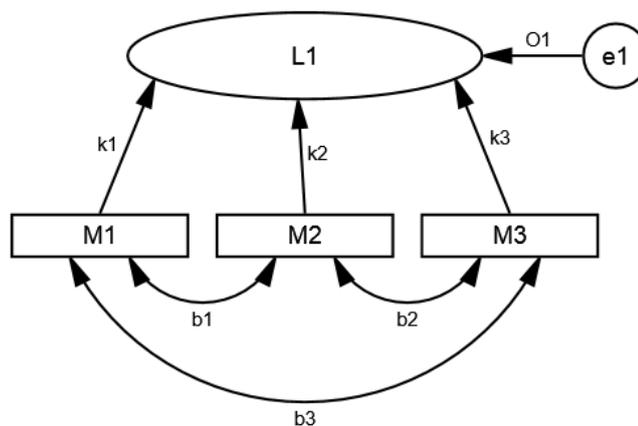


Figura 4: Exemplo de modelo formativo.

Onde M1, M2 e M3 são variáveis mensuráveis, L1 é a variável latente, k1, k2 e k3, são os coeficientes estimados, b1, b2 e b3 são as covariâncias entre variáveis exógenas, O1 é coeficiente do erro e e1 é a variável de variância do erro.

Em modelos formativos podem aparecer variáveis denominadas de *composites*. Em livros e artigos científicos as *composites* são geralmente representadas por hexágonos, mas em softwares são representadas da mesma forma que as variáveis latentes, ou seja, em formato de elipse ou círculo, porém com a diferença de que a variável de variância de erro associado ao construto é fixada com o valor zero. *Composite* é uma variável que representa uma coleção de causas, e tais causas podem ser representadas por variáveis mensuráveis ou latentes (Grace, 2006).

Todas as relações entre variáveis são parâmetros do modelo, representados por coeficientes de regressão e pode também ser determinada a intensidade da correlação entre fatores (Bollen e Noble, 2011). As relações diretas entre variáveis latentes são consideradas hipóteses específicas do modelo.

Para construção do modelo é necessário seguir etapas para que a modelagem fique organizada e correta. A inclusão de variáveis latentes e o estabelecimento de relações estruturais entre os fatores são tratados por duas partes distintas ou modelos, que compõem um modelo de equações estruturais: o de mensuração dos construtos e o das relações estruturais entre eles (Grace e Bollen, 2008), como mostrado na próxima seção.

## **2.2. Construção do modelo, as equações estruturais e a identificação do modelo**

Na construção do modelo é viável que sejam seguidas etapas para que tal construção seja correta e organizada. Diversos trabalhos utilizam sua própria sequência, mas de maneira geral pode ser descrita na Figura 3.

**Primeira etapa (teoria)** - é o conhecimento teórico do problema que se quer modelar, assim será possível estabelecer as relações iniciais entre as variáveis;

**Segunda etapa (especificação do modelo)** - é a elaboração do modelo inicial considerando o conhecimento teórico e a experiência do pesquisador. Nesta etapa deve-se elaborar o modelo gráfico e das equações estruturais para utilizá-las em softwares que necessitam entrar com as equações e não com o modelo gráfico;

**Terceira etapa (coleta e preparação das variáveis)** - faz-se a coleta dos dados e análise das variáveis. Nesta etapa são feitas todas as análises dos dados, análises de estatística descritiva, multicolinearidade, correlação, normalidade e, se for necessário, podem ser feitas transformações para adequação dos dados para, por exemplo, obter a normalidade dos dados;

**Quarta etapa (estimação)** - faz-se a estimação do modelo usando softwares, devendo ser definido o método de estimação a ser utilizado e a verificação dos índices de ajuste;

**Quinta etapa (avaliação do ajuste)** - avaliam-se os resultados dos índices ajuste;

**Sexta etapa (modificação do modelo ou discussão)** - apresenta duas possibilidades: se não ajustado reespecifica-se o modelo e faz-se uma nova estimação, mas se ajustado passa-se a discussão dos resultados.

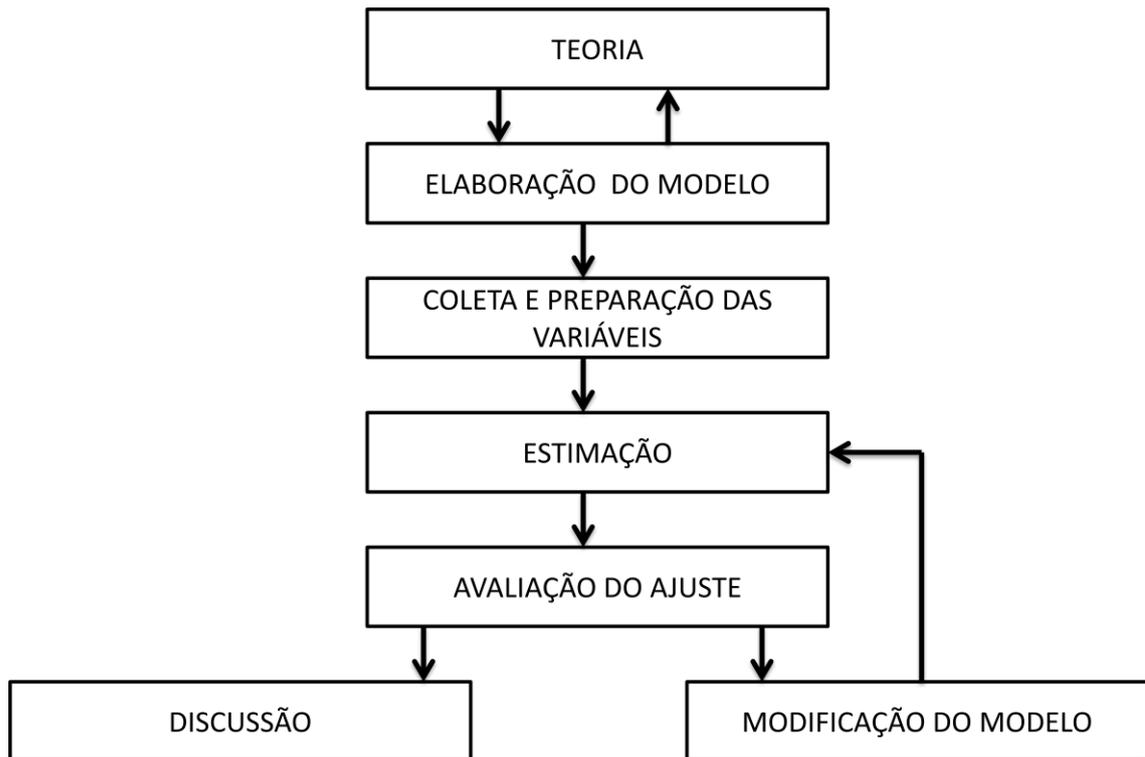


Figura 5: Etapas a serem percorridas para a construção de um modelo de equações estruturais (Kaplan, 2000).

O modelo estrutural define as relações entre as variáveis latentes, conseqüentemente, este modelo especifica quais variáveis latentes (exógenas ou independentes) influenciam direta ou indiretamente em outra variável latente (endógena ou dependente). O modelo de mensuração especifica como variáveis latentes dependem ou são indicadas pelas variáveis mensuráveis (Bollen, 1989).

De acordo com os autores Kaplan (2000) e Ullman (2006), a MEE é uma técnica mais confirmatória do que exploratória e consiste em um sistema de equações lineares, que pode ser dividido em dois subsistemas mostrados por Bollen e Noble (2011), em (1), (2) e (3):

$$\eta = \alpha_{\eta} + B\eta + \Gamma\xi + \zeta, \quad (\text{Modelo Estrutural}) \quad (1)$$

onde,  $B$  é uma matriz de coeficientes de  $m \times m$  que relaciona os  $m$  fatores endógenos um com outro.  $\Gamma$  é a matriz de coeficientes de  $m \times n$  que relaciona os  $n$  fatores exógenos com os  $m$  fatores endógenos.  $\zeta$  é um vetor de variâncias de

erros de  $m \times 1$ , representa os erros na equação que relaciona  $\eta$  variáveis latentes endógenas. Assume-se que  $\zeta$  não está correlacionado com  $\xi$ .

$$y = \alpha_y + \Lambda_y \eta + \varepsilon, \quad (\text{Modelo de mensuração de } y) \quad (2)$$

onde,  $y$  é um vetor de  $p \times 1$  de variáveis mensuráveis que são indicadores de variáveis latentes endógenas ( $\eta$ ).  $\eta$  é um vetor de  $m \times 1$  de variáveis latentes endógenas.  $\varepsilon$  é um vetor de  $p \times 1$  de variâncias de erros de medição em  $y$ .  $\Lambda_y$  é uma matriz  $p \times m$  de cargas fatoriais de  $y$  sobre  $\eta$ . Impõem-se as restrições que  $\Lambda_y = \mathbf{I}$  (matriz identidade).

$$x = \alpha_x + \Lambda_x \xi + \delta, \quad (\text{Modelo de mensuração de } x) \quad (3)$$

onde,  $x$  é um vetor de  $q \times 1$  de variáveis mensuráveis que são indicadores de variáveis latentes exógenas ( $\xi$ ).  $\xi$  é um vetor de  $n \times 1$  de variáveis latentes exógenas.  $\delta$  é um vetor de  $q \times 1$  de variâncias de erros de medição em  $x$ .  $\Lambda_x$  é uma matriz  $q \times n$  de cargas fatoriais de  $x$  sobre  $\xi$ . Impõem-se as restrições que  $\Lambda_x = \mathbf{I}$  (matriz identidade).

Nas equações 1, 2 e 3, os vetores do intercepto são representados por  $\alpha_\eta$ ,  $\alpha_y$  e  $\alpha_x$ , respectivamente. Segundo Bollen e Noble (2011), impõem-se as restrições que  $\alpha_\eta = 0$ ,  $\alpha_y = 0$  e  $\alpha_x = 0$ .

Alguns softwares utilizam estas equações como informação de entrada especificando o modelo, já outros admitem a entrada na forma gráfica do diagrama de caminhos, e neste caso, a construção das equações é feita internamente pelo software para resolver o sistema.

Como é necessário resolver um sistema de equações estruturais, uma questão crucial é saber se o modelo é ou não identificado. Em geral, o modelo é não identificado, havendo, portanto, a necessidade de impor restrições aos seus parâmetros para que o mesmo se torne identificado. Essas restrições servem para reduzir o número de parâmetros a serem estimados. Um modelo será não identificado quando não for possível obter solução única para todos os seus parâmetros livres (Mulaik, 2009).

Modelos estruturais são caracterizados por seu grau de identificação, que é definido pelo grau de liberdade de um modelo depois que todos os parâmetros a serem estimados são especificados. Schumacker e Lomax (2004) descrevem três tipos de modelos. O subidentificado (ou não identificado) é o modelo com quantidade negativa de graus de liberdade, o que significa que um ou mais parâmetros não podem ser unicamente identificados porque não há informações suficientes para isso. Este modelo não está identificado e não poderá ser estimado até que o pesquisador fixe ou condicione alguns parâmetros.

Já o modelo exatamente identificado é o modelo com zero grau de liberdade. Todos os parâmetros estão unicamente determinados e há a quantidade de informações exatas para serem analisadas. Modelos deste tipo apresentam ajuste perfeito. Em MEE, um modelo com zero graus de liberdade é chamado de saturado e a estatística resultante da qualidade de ajuste de  $\chi^2$  também é zero.

E por fim, o modelo superidentificado tem um número de graus de liberdade maior que zero, ou seja, mais informações na matriz de dados que o número de parâmetros a serem estimados. Dessa forma, há mais de uma maneira de ajustá-lo. Com isso, modelos superidentificados são os modelos desejados pelos pesquisadores. No entanto, o fato do grau de liberdade ser maior que zero não é garantia de identificação do modelo, pois mesmo que existam mais informações que o necessário, as soluções dos parâmetros podem não ser únicas.

### **2.3. Métodos de estimação e índices de ajustes em MEE**

O método de estimação deve ser especificado pelo pesquisador antes da execução no modelo no software. As técnicas mais usadas são: Máxima Verossimilhança (MLE), Mínimos Quadrados Generalizados (GLS), Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), Mínimos Quadrados Ponderados (WLS ou ADF) (Shumacker e Lamax, 2004; Thompson, 2006).

Máxima Verossimilhança (ML) é a técnica mais utilizada e requer que os dados tenham uma distribuição normal multivariada e que a amostra seja em torno de 100 a 200 dados. A amostra não deve ultrapassar 400 a 500 dados, pois acima deste tamanho a técnica se torna muito sensível e todas as medidas de qualidade do ajuste tendem a ser ruins. O cálculo é feito usando a equação (4). Caso a normalidade multivariada seja violada e o pesquisador queira usar esta técnica de estimação, serão necessárias amostras muito grandes para compensar a não-normalidade (Ullman, 2006). Esta necessidade de grandes amostras para corrigir a não normalidade pode não ser viável para pesquisadores com delineamentos amostrais menores, como o de pesquisas experimentais.

$$F_{ML} = \log|\Sigma| + tr(S\Sigma^{-1}) - \log|S| - (p + q) \quad (4)$$

Onde, a matriz  $\Sigma$  representa as covariâncias estimadas, a matriz S representa as covariâncias observadas entre cada variável presente no modelo, p representa o número de indicadores das variáveis latentes endógenas e q o número de indicadores das variáveis latentes exógenas (Hair et al., 2009).

Outro ponto importante na MEE é saber executar e analisar os resultados obtidos, com isso, faz-se necessário o conhecimento dos índices de ajustes. Os índices de ajustes são divididos em absoluto, incrementais e de parcimônia. Existem também os índices comparativos para comparar modelos que foram reespecificados. A seguir serão mostrados apenas os índices utilizados neste estudo. Outros índices podem ser consultados em Hair et al. (2009) e Byrne (2009).

### 2.3.1. Índices de ajuste absoluto

**Teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ )** - a qualidade de ajuste (GOF) mostra se o modelo especificado reproduz a matriz de covariância entre os itens indicadores, ou seja, a similaridade entre a matriz de covariância estimada e observada. A matriz de covariância estimada é comparada matematicamente com a matriz de

covariância observada para fornecer uma estimativa de ajuste do modelo. Se os valores destas duas matrizes forem próximos, melhor é o ajuste do modelo (Byrne, 2009).

$$\chi^2 = (N - 1)(S - \Sigma_k), \quad (5)$$

onde N é o tamanho da amostra, S é a matriz de covariância amostral observada e  $\Sigma_k$  é matriz de covariância estimada em MEE e k é o número de parâmetros a serem estimados. Hair et. al. (2009) destacam que deve ser observado que mesmo quando as diferenças entre as matrizes de covariâncias se mantêm constantes, o valor do  $\chi^2$  aumenta quando a amostra também aumenta. Da mesma forma, a matriz de covariância estimada em MEE é influenciada pelo número de parâmetros a serem estimados. Logo, os graus de liberdade também influenciam o teste de qualidade de ajuste de  $\chi^2$ .

Na estatística  $\chi^2$  para MEE deseja-se conseguir semelhanças entre as matrizes, ou seja, valores baixos do  $\chi^2$ , para assim sustentar o modelo como representativo dos dados. A hipótese nula ( $H_0$ ) é que a matriz de covariância observada da amostra e a matriz estimada seriam iguais, o que significa que o modelo se ajustaria perfeitamente. Como o ajuste perfeito não é o que acontece, o valor do  $\chi^2$  aumenta. O valor do  $\chi^2$  pode aumentar também se o número de variáveis observadas também aumenta (Hair et al., 2009).

Pode-se determinar a probabilidade de que a matriz de covariância observada e a estimada pela amostra sejam realmente iguais em uma população. Tal probabilidade é conhecida por valor-p. No teste  $\chi^2$  quanto menor o valor-p, maior a chance das matrizes de covariância observada na amostra e a estimada não serem iguais. Então, em MEE não se deseja um valor-p do teste  $\chi^2$  pequeno, demonstrando mais uma diferença entre o MEE e outros métodos estatísticos (Mulaik, 2009). Por isso, busca-se um valor pequeno para o  $\chi^2$  e um valor grande para o correspondente valor-p, o que indica nenhuma diferença estatisticamente significativa entre as matrizes.

Tendo em vista as diversas demonstrações de sensibilidade que do teste  $\chi^2$  não é recomendável seu uso como único indicador de ajuste de um modelo. Assim, devido a utilização de grandes amostras e a complexidade dos modelos, outras alternativas de medir qualidade do ajuste foram desenvolvidas, porém

também estas apresentam limitações. Entretanto, pode-se dizer que a estatística  $\chi^2$  demonstra bem o ajuste do modelo, que associada à experiência do pesquisador já poderiam ser feitas conclusões com base nos resultados.

**Graus de liberdade (*df*)** - Os graus de liberdade são muito importantes na estatística  $\chi^2$ , assim como em outros procedimentos estatísticos, pois representam a quantidade de informação matemática disponível para estimar parâmetros do modelo. Calcula-se os graus de liberdade da seguinte forma:

$$df = \frac{1}{2}[(p)(p + 1)] - k, \quad (6)$$

onde,  $p$  é o número total de variáveis observadas e  $k$  é o número de parâmetros estimados (livres). Em MEE o tamanho amostral não afeta os graus de liberdade.

**Índice de Qualidade de Ajuste (GFI)** - O GFI foi o índice de ajuste pioneiro, na tentativa de produzir uma estatística de ajuste que fosse menos sensível ao tamanho amostral ( $N$ ). Ainda que o  $N$  não seja incluído na fórmula, esta estatística continua indiretamente sensível ao tamanho da amostra por conta do efeito de  $N$  sobre distribuições amostrais (Hair et al., 2009). O intervalo admissível de valores para o GFI é de 0 a 1, com valores maiores indicando melhor ajuste (Ullman, 2006).

Pode-se calcular o valor do GFI usando a fórmula:

$$GFI = 1 - \frac{F_k}{F_0}, \quad (7)$$

onde,  $F_k$  é a função de ajuste mínimo, usando  $k$  graus de liberdade de  $(S - \Sigma_k)$  e  $F_0$  é uma função de ajuste dada quando todos os parâmetros forem nulos, o que significa que não há relações entre as variáveis.

Assim, pode-se afirmar que se a razão  $\frac{F_k}{F_0}$  for pequena tem-se um bom ajuste do modelo, mas se a razão for próxima de 1 ou próprio 1 ter-se-á um ajuste ruim e um GFI nulo.

**Raiz do Erro Quadrático Médio de Aproximação (RMSEA)** - Tenta corrigir a tendência da estatística de  $\chi^2$  a rejeitar modelos com amostras grandes ou grandes números de variáveis observadas. Assim, ela representa melhor o quão bem um modelo se ajusta a uma população e não apenas a uma amostra

usada para estimação. Valores RMSEA menores indicam melhor ajuste (Hair et al., 2009). Ela é um índice de má qualidade de ajuste, em contrastes com índices nos quais valores maiores refletem ajuste melhor (Mulaik, 2009).

Byrne (2009) coloca que a definição de um valor que demonstraria um “bom” resultado para o índice RMSEA é polêmica, mas valores típicos estão abaixo de 0,10 para a maioria dos modelos aceitáveis. Um exame empírico de diversas medidas determinou que RMSEA é a mais adequada para uso em estratégias de modelos confirmatórios ou concorrentes à medida que amostras se tornam maiores. Uma vantagem da RMSEA é que um intervalo de confiança pode ser construído, fornecendo o domínio de valores RMSEA para um dado nível de confiança. Assim, isso permite reportar que quando RMSEA está entre 0,03 e 0,08, por exemplo, há 95% de confiança.

A fórmula para calcular o RMSEA é:

$$RMSEA = \sqrt{\frac{(\chi^2 - df)}{(N-1)}}. \quad (8)$$

**Índice de mínima discrepância** ( $\frac{\chi^2}{df}$ ) - Representa a discrepância entre a matriz de covariância amostral observada (S) e a matriz de covariância estimada MEE ( $\Sigma_k$ ). Em essência, representa o teste estatístico  $\chi^2$  e é uma razão simples de  $\chi^2$  com grau de liberdade para um modelo. Geralmente os valores de  $\frac{\chi^2}{df}$  menores ou iguais a 3 são associados com modelos ajustados, exceto em circunstâncias envolvendo amostras extremamente grandes (maiores que 750) ou outras circunstâncias atenuantes, como um elevado grau de complexidade do modelo (Mulaik, 2009).

### 2.3.2. Índices de ajuste incremental

Os índices de ajuste incremental diferem dos absolutos no sentido de que eles avaliam o quão bem um modelo especificado se ajusta relativamente a algum modelo alternativo de referência. O modelo de referência mais comum é chamado

de modelo nulo, que assume que todas as variáveis observadas são não correlacionadas (Hair et al., 2009).

**Índice de Ajuste Comparativo (CFI)** - Seus valores variam entre 0 e 1, com valores mais altos indicando melhor ajuste. Pelo fato do CFI ter muitas propriedades desejáveis, incluindo sua insensibilidade relativa, mas não completa, em relação à complexidade do modelo, ele está entre os índices mais usados. Valores de CFI abaixo de 0,90 indicam, geralmente, que o modelo não se ajusta bem (Byrne, 2009).

**Índice de Tucker Lewis (TLI)** - O TLI antecede o CFI e é conceitualmente semelhante, no sentido de que também envolve uma comparação matemática de um modelo teórico de mensuração especificado com um modelo nulo de referência. O TLI não é normado, seu valor pode ficar abaixo de 0 ou acima de 1. No entanto, tipicamente, modelos com bom ajuste têm valores que se aproximam de 1, e um modelo com um valor maior sugere um ajuste melhor do que o modelo com menor valor (Byrne, 2009).

### 2.3.3. Índices para comparação entre modelos reespecificados

**Estatística da diferença do qui-quadrado ( $\Delta\chi^2$ )** - O valor do  $\chi^2$  de um modelo de referência (B) é subtraído do valor do  $\chi^2$  de um modelo alternativo (A). Analogamente realiza-se o cálculo da diferença dos graus de liberdade de cada modelo.

$$\Delta\chi^2 = \chi^2(B) - \chi^2(A) \quad (9)$$

$$\Delta df = df(B) - df(A) \quad (10)$$

Como a diferença dos dois valores do  $\chi^2$  é atribuída ao valor do  $\chi^2$ , pode-se testar a significância estatística, dada uma diferença  $\Delta\chi^2$ , calculada como na equação (9), e uma diferença de graus de liberdade  $\Delta df$ , calculada na equação (10). Por exemplo, em um modelo com  $\Delta df = 1$ , que significa um caminho extra no modelo alternativo A, se o  $\Delta\chi^2$  for de 3,84 ou mais, pode-se concluir que o modelo é significativamente diferente e melhor ao nível de 5%. Cabe ressaltar que

é possível excluir caminhos, sendo o mesmo cálculo mostrado nas equações (9) e (10) (Hair et al., 2009).

***Critério de informação de Akaike (AIC)*** – Este índice é utilizado para comparação de modelos concorrentes. É recomendado escolher o modelo que apresentar o menor resultado do índice AIC (Byrne, 2009).

O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) também pode ser considerado para análise. É calculado para qualquer variável endógena e assim como na análise de regressão múltipla, estes resultados podem ser afetados pela multicolinearidade existente entre os indicadores do modelo. Hair et al. (2009) descrevem que valores de correlações, entre duas variáveis independentes, superiores a 0,9 em valor absoluto sejam examinados, pois possivelmente comprometerão os resultados obtidos na estimação do modelo.

## **2.4. Análise do modelo de equações estruturais**

### **2.4.1. Cargas fatoriais (betas das regressões)**

Para MEE as cargas fatoriais devem ser estatisticamente significativas, sejam elas cargas altas ou baixas. É mais comum encontrar cargas fatoriais significativas com valores baixos, mas uma maneira de solucionar esse problema é a utilização da padronização dos dados, assim podem-se obter cargas fatoriais que são analisadas de modo comparativo. De acordo com Hair et al. (2009), cargas padronizadas devem ser maiores que 0,50 para serem consideradas boas, idealmente  $\geq 0,70$ . Para Grace (2006) as cargas fatoriais com valores ao redor de 0,80 são consideradas muito boas e  $\geq 0,90$  são excelentes.

### 2.4.2. Variância extraída (VE)

A VE indica o quanto da variância dos indicadores pode ser explicada pelos respectivos construtos, calculada como na equação (11):

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i}, \quad (11)$$

onde os valores de  $\lambda_i$  representam as cargas fatoriais padronizadas e os  $\varepsilon_i$  termos de variância de erro para cada construto,  $i$  é número de itens e  $n$  é o total de itens. Uma VE de 0,5 ou superior sugere convergência adequada. Uma VE inferior a 0,5 indica que, em média, mais erros permanecem nos itens do que a variância explicada pela estrutura fatorial latente imposta sobre a medida (Hair et al., 2009; Fornell e Larcker, 1981).

### 2.4.3. Confiabilidade de construto (CR)

A CR também é um indicador de validade convergente e pode ser calculada como na equação (12):

$$CR = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right)}. \quad (12)$$

Segundo Hair et al. (2009) e Fornell e Larcker (1981), a confiabilidade também é um indicador de validade convergente. A regra para qualquer estimativa de confiabilidade é que 0,7 ou mais sugere um bom valor. Confiabilidade entre 0,6 e 0,7 pode ser aceitável desde que outros indicadores de validade de construto de um modelo sejam bons. Elevada confiabilidade de

construto indica a existência de consistência interna, o que significa que todas as medidas consistentemente representam o mesmo construto latente.

## **2.5. Trabalhos desenvolvidos em ciências naturais**

Nesta seção, será feito um breve panorama de alguns trabalhos e o objetivo é ilustrar aplicações da MEE dentro das áreas que mais se aproximam da fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes, e que de alguma forma estudam as relações entre componentes do solo, da serapilheira e da fauna.

Dentro das ciências naturais a MEE vem atraindo o interesse de diversos pesquisadores em nível internacional. No Brasil, os estudos na área de solos e nutrição de plantas iniciaram-se com modelos para o ciclo do fósforo, com os trabalhos de Gama-Rodrigues et al. (2014), Sales et al. (2015) e Costa et al. (2016). Já o estudo de Moço et al. (2010) envolvendo qualidade e diversidade de fauna do solo e da serapilheira se resumiu ao uso de análise de trilha, componentes principais e estatísticas clássicas, sendo apresentada uma única variável dependente, não possibilitando verificar variáveis de erro e avaliado apenas os efeitos diretos e indiretos.

Destacam-se como outros exemplos os trabalhos, em nível internacional, de Allison et al. (2007), Doblas-Miranda et al. (2009), Eisenhauer et al. (2012) e Jing et al. (2015). Nestes trabalhos não houve a inclusão de variáveis latentes, e utilizaram a MEE apenas para analisar efeitos diretos e indiretos, por meio do diagrama de caminhos, com variáveis mensuráveis. Tais modelos se diferenciam da análise de trilha pela inserção das variáveis de erro e por ser possível ter mais de uma variável dependente no modelo.

Allison et al. (2007) analisaram o quanto a composição da comunidade microbiana do solo pode ser alterada com a profundidade e ao longo de um gradiente sucessivo de restauração de pradaria nativa com uso de MEE. Destacou-se que o carbono seria o fator de controle primário na composição da biomassa e na comunidade microbiana.

Doblas-Miranda et al. (2009) estudaram os fatores que determinam a distribuição do solo e a estrutura do solo, e os grupos de camadas das macrofaunas que ainda permanecem pouco compreendidos. A hipótese foi que o papel dos fatores bióticos e abióticos difere entre grupos de solos minerais e da serapilheira em sistemas áridos e que ambos são ligados por animais que se deslocam entre estes níveis. Assim, a MEE mostrou que os fatores abióticos e as relações entre os diferentes grupos tróficos foram fatores determinantes que afetaram a densidade da fauna no sistema.

Eisenhauer et al. (2012) estudaram a diversidade de decompositores e efeitos da influência da diversidade da planta sobre o funcionamento do ecossistema. Com a utilização da MEE destacou-se que a elevada decomposição por meio da fauna aumenta o desempenho da planta, tendo uma relação positiva entre a diversidade de plantas e o funcionamento dos ecossistemas.

Jing et al. (2015) usaram a MEE para estudar as ligações entre multifuncionalidade do ecossistema e a biodiversidade acima e abaixo do solo sendo mediados pelo clima. Destaca-se que a biodiversidade vegetal é, muitas vezes, relacionada com o funcionamento do ecossistema. No entanto, os autores afirmaram que pouco se sabe sobre os efeitos relativos e combinados da biodiversidade acima e abaixo do solo, e que ela tem várias funções no ecossistema e como o clima pode mediar as relações.

Em outros trabalhos tais como Grace e Bollen (2006), Barto et al. (2010), Gama-Rodrigues et al. (2014), Sales et al. (2015) e Costa et al. (2016) foram mostrados o uso da MEE analisando relações diretas e indiretas do modelo, com inclusão de variáveis latentes.

Grace e Bollen (2006) utilizaram a MEE em dois momentos de estudo ecológico de sistemas vegetais. No primeiro momento, estudaram os fatores limitantes como condições do solo, paisagem e concorrência das espécies sobre colonização bem-sucedida de espécies herbáceas. No segundo momento, analisaram a influência de micro-habitat e macro-habitat sobre a diversidade da espécie de anfíbios. Foi incluída também a variável *composite*.

Barto et al. (2010) estudaram o impacto direto do uso da terra sobre os agregados do solo, e a influência indireta dos fatores bióticos e abióticos sobre

estes agregados. A MEE mostrou que o tipo de uso da terra pode aumentar a agregação do solo e que os fatores abióticos podem ser mais importantes para determinar a agregação do solo do que os fatores bióticos.

Gama-Rodrigues et al. (2014) aplicaram a MEE, de forma exploratória, para testar modelos hipotéticos do ciclo do P, usando dados do método de extração de Hedley. Em seu modelo principal foram estudadas as influências diretas das variáveis latentes *pools* de P orgânico, inorgânico, ocluso e mineral primário sobre o *pool* de P disponível.

Sales et al. (2015) fizeram reespecificações de dois modelos estruturais apresentados por Gama-Rodrigues et al. (2014). A MEE neste estudo permitiu que, além das relações diretas previamente analisadas, fossem feitas análises de relações indiretas dos *pools* de P ocluso e mineral primário sobre o P disponível por intermédio do *pool* de P orgânico. Com esta análise foi possível verificar a dependência do *pool* de P disponível pelo *pool* de P orgânico em solos tropicais não fertilizados.

Costa et al. (2016) estudaram as frações de fósforo (P) como fator nutricional para o cultivo do eucalipto no Brasil e se propuseram a avaliar a distribuição das frações de P lábil e não-lábil no solo em 10 locais com plantio de eucalipto em Estado de São Paulo, Brasil. Também estudaram as interações entre as frações de P para identificar quais as frações agem como drenos ou fontes para a fração de P disponível. Para separar as frações de P utilizaram o método de extração sequencial Hedley, e os processos de transformação de P foram avaliados através de modelagem de equações estruturais usando variáveis latentes. Concluíram que o *pool* de P disponível era altamente dependente dos *pools* inorgânicos e ocluso e o *pool* orgânico atuou predominantemente como um dissipador de P nos *pools* disponíveis e inorgânicos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O banco de dados utilizado neste trabalho cobre uma variação de tipos de solos (Latosolos e Cambissolos) sob diferentes sistemas de cacau (cacau-cabruca e cacau-eritrina) em floresta natural na região cacauzeira do Sul da Bahia, Brasil. Os dados de grupos funcionais de fauna do solo e da serapilheira e qualidade do solo e da serapilheira foram coletados de Moço et al. (2010), Tabela 2.

Foram feitas análises preliminares do banco de dados original, tais como estatística descritiva (Tabela 3) e correlação no software Microsoft Excel 2010, multicolinearidade no software GENES versão 2006.4.1, normalidade univariada no software Statistic 8, análise de trilha no software SAEG versão 9.1.

Observou-se que com a padronização dada pela equação (13) (Hines et al., 2012), obteve-se dados com melhores resultados. A padronização faz com que os dados apresentem média zero e desvio padrão 1.

$$Z = \frac{x-\mu}{\sigma}, \quad (13)$$

onde,  $x$  é o valor da amostra,  $\mu$  é a média aritmética do banco de dados e  $\sigma$  é o desvio padrão do banco de dados. A padronização dos dados de Moço et al. (2010), foi feita no software Excel 2010.

Foram feitas também as análises preliminares usando o banco de dados já padronizado, onde a multicolinearidade consta no Apêndice A e análise de trilha no Apêndice B e as correlações de Pearson nas Tabelas 4 A-D.

Utilizou-se o software IBM/SPSS/AMOS, versão 22, para análise dos modelos de equações estruturais, utilizando como entrada o diagrama de caminhos. O método de estimação selecionado foi o de Máxima Verossimilhança.

Para avaliação do ajuste dos modelos utilizou-se os testes  $\chi^2$ , *p*-valor, *df*, CFI, GFI, TLI, RMSEA e  $\frac{\chi^2}{df}$  e AIC e  $\Delta\chi^2$  para comparação entre os modelos quando foram reespecificados.

Tabela 2: Siglas das variáveis mensuráveis coletadas por Moço et al. (2010).

<b>Variáveis do Serapilheira</b>		<b>Variáveis do Solo</b>	
MICse	Micrófagos	MICso	Micrófagos
INSse	Insetos Sociais	INSso	Insetos Sociais
SAPse	Saprófitos	SAPso	Saprófitos
PREse	Predadores	PREso	Predadores
ONVse	Onívoros	ONVso	Onívoros
HERse	Herbívoros	HERso	Herbívoros
Rlse	Riqueza	Rlso	Riqueza
LIG	Lignina	DAP	Densidade aparente
CEL	Celulose	PH	pH
POL	Polifenos	Cso	Carbono
Nse	Nitrogênio	Nso	Nitrogênio
Cse	Carbono	Pso	Fósforo
Pse	Fósforo	ARG	Argila
---	---	SB	Soma de Bases (K + Ca + Mg)

Tabela 3: Estatística descritiva do banco de dados original.

Atributos do solo					Atributos da serapilheira				
N=24	Média	SD	Mín.	Máx.	N=24	Média	SD	Mín.	Máx.
<b>MICso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	158,67	122,41	5,33	442,67	<b>MICse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	956,22	691,24	192	2768
<b>INSso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	279,11	261,32	10,67	1056	<b>INSse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	609,11	556,38	21,33	2133,33
<b>SAPso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	87,33	55,87	21,33	261,33	<b>SAPse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	267,56	148,47	80	618,67
<b>PREso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	48,22	40,87	0	144	<b>PREse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	72,67	55,89	5,33	186,67
<b>OUTso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	52,67	37,19	10,67	144	<b>OUTse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	133,33	71,83	21,33	346,67
<b>HERso</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	14,67	28,41	0	138,67	<b>HERse</b> ( <i>indiv.m<sup>-2</sup></i> )	54,89	39,77	10,67	160
<b>Rlso</b> ( <i>grupos.m<sup>-2</sup></i> )	7,5	2,03	3	10	<b>Rlse</b> ( <i>grupos.m<sup>-2</sup></i> )	11,75	2,33	7,67	18,67
<b>pH</b>	5,08	0,8	3,68	6,07	<b>Nse</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	16,42	1,41	14,26	19,27
<b>DAP</b> ( <i>g.cm<sup>-3</sup></i> )	1,09	0,18	0,83	1,48	<b>Cse</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	391,81	21,3	356,45	423,26
<b>Nso</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	3,04	0,61	1,91	4,09	<b>LIG</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	329,42	34,57	252,06	372,56
<b>Cso</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	34,46	9,02	15,85	42,04	<b>CEL</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	198,55	18,09	155,03	223,61
<b>ARG</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	36,17	11,32	20,2	52,4	<b>POL</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	5,76	1,57	2,1	7,49
<b>Pso</b> ( <i>mg dm<sup>-3</sup></i> )	19,31	25,22	3,68	79,8	<b>Pse</b> ( <i>g kg<sup>-1</sup></i> )	0,81	0,37	0,36	1,53
<b>SB</b> ( <i>cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></i> )	87,5	28,5	50,68	134,85					

SD = desvio padrão, Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo  
(*indiv.m<sup>-2</sup>*) = *individuos.m<sup>-2</sup>*

A tabela de correlação apresenta informações importantes para análise do construto e pode ser utilizada como entrada de dados no software AMOS. Nota-se na Tabela 4A que, de maneira geral, os grupos de fauna da serapilheira não apresentam correlações significativas entre si, com exceção dos saprófitos com micrófagos e com predadores. Já as variáveis indicadoras da qualidade da serapilheira se mostraram, em sua maioria, com correlações significativas entre si, à exceção do carbono com nitrogênio e com polifenóis. As correlações entre os grupos de fauna e qualidade se mostraram não significativas em todos os casos.

Na Tabela 4B pode-se observar que grupos de fauna do solo apresentam apenas duas correlações significativas entre si, sendo elas herbívoros com insetos sociais e com onívoros. Já as variáveis indicadoras da qualidade do solo se mostraram com correlações significativas em sua maioria, com exceção da soma de bases com a densidade e com o fósforo e do carbono com o nitrogênio. As correlações entre os grupos de fauna e qualidade do solo foram significativas apenas entre micrófagos com nitrogênio; saprófitos com fósforo e com soma de bases; predadores com carbono, com argila e com fósforo; e onívoros com nitrogênio e com soma de bases.

Na Tabela 4C, pode-se observar que, não houve correlações entre os grupos de fauna do solo e da serapilheira, enquanto na Tabela 4D observou-se correlações significativas entre diversas variáveis da qualidade da serapilheira e qualidade do solo. Destaca-se que o pH e a argila do solo foram significativos com todos os atributos, com exceção da celulose. A densidade do solo correlacionou-se apenas com fósforo, enquanto o carbono do solo teve correlação significativa com todos os atributos químicos da serapilheira, com exceção do carbono. O nitrogênio do solo correlacionou-se apenas com celulose, o fósforo do solo apenas com fósforo da serapilheira e a soma de bases do solo com carbono, lignina e fósforo da serapilheira.

Tabela 4A: Correlação de Pearson entre os grupos de fauna<sup>(\*)</sup> e atributos químicos<sup>(\*\*)</sup> da serapilheira (em negrito e grifado estão as correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.

	MICse	INSse	SAPse	PREse	ONVse	HERse	Nse	Cse	LIG	CEL	POL	Pse
MICse	1,00											
INSse	0,03	1,00										
SAPse	<b><u>0,41</u></b>	0,26	1,00									
PREse	0,26	0,04	<b><u>0,54</u></b>	1,00								
ONVse	0,35	0,09	0,31	0,37	1,00							
HERse	0,02	0,28	0,20	-0,01	0,36	1,00						
Nse	-0,01	-0,19	-0,11	-0,01	0,04	0,12	1,00					
Cse	0,26	-0,25	0,20	0,23	0,05	-0,32	-0,09	1,00				
LIG	0,19	-0,05	0,34	0,29	-0,09	-0,25	<b><u>-0,62</u></b>	<b><u>0,67</u></b>	1,00			
CEL	0,29	0,02	0,22	-0,13	-0,32	-0,11	<b><u>-0,57</u></b>	<b><u>0,47</u></b>	<b><u>0,81</u></b>	1,00		
POL	-0,07	0,13	0,06	0,08	-0,17	-0,16	<b><u>-0,85</u></b>	0,20	<b><u>0,79</u></b>	<b><u>0,70</u></b>	1,00	
Pse	0,16	-0,19	-0,17	-0,29	0,11	0,29	<b><u>0,73</u></b>	<b><u>-0,41</u></b>	<b><u>-0,82</u></b>	<b><u>-0,53</u></b>	<b><u>-0,87</u></b>	1,00

(\*) MICse = micrófagos, INSse = insetos sociais, SAPse = saprófitos, PREse = predadores, ONVse = onívoros, HERse = herbívoros.

(\*\*) Nse = nitrogênio, Cse = carbono, LIG = lignina, CEL = celulose, POL = plofenóis, Pse = fósforo.

Tabela 4B: Correlação de Pearson entre os grupos de fauna<sup>(\*)</sup> e atributos químicos e físicos<sup>(\*\*)</sup> do solo (em negrito e grifado estão correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.

	<b>MICso</b>	<b>INSso</b>	<b>SAPso</b>	<b>PREso</b>	<b>ONVso</b>	<b>HERso</b>	<b>pH</b>	<b>DAP</b>	<b>Cso</b>	<b>Nso</b>	<b>ARG</b>	<b>Pso</b>	<b>SB</b>
<b>MICso</b>	1,00												
<b>INSso</b>	-0,25	1,00											
<b>SAPso</b>	0,00	0,08	1,00										
<b>PREso</b>	0,39	-0,15	0,28	1,00									
<b>ONVso</b>	-0,08	0,16	0,33	0,27	1,00								
<b>HERso</b>	0,14	<b><u>0,41</u></b>	0,40	0,02	<b><u>0,60</u></b>	1,00							
<b>pH</b>	0,34	-0,27	-0,30	-0,33	-0,36	-0,10	1,00						
<b>DAP</b>	0,40	-0,15	-0,13	-0,39	-0,21	0,04	<b><u>0,79</u></b>	1,00					
<b>Cso</b>	0,06	0,09	0,34	<b><u>0,45</u></b>	0,06	0,03	<b><u>-0,72</u></b>	<b><u>-0,45</u></b>	1,00				
<b>Nso</b>	<b><u>-0,43</u></b>	0,32	0,17	0,32	<b><u>0,50</u></b>	0,15	<b><u>-0,66</u></b>	<b><u>-0,75</u></b>	0,10	1,00			
<b>ARG</b>	-0,29	0,20	0,37	<b><u>0,47</u></b>	0,23	0,02	<b><u>-0,96</u></b>	<b><u>-0,83</u></b>	<b><u>0,81</u></b>	<b><u>0,59</u></b>	1,00		
<b>Pso</b>	0,31	-0,12	<b><u>-0,43</u></b>	<b><u>-0,52</u></b>	-0,24	-0,15	<b><u>0,62</u></b>	<b><u>0,83</u></b>	<b><u>-0,42</u></b>	<b><u>-0,69</u></b>	<b><u>-0,73</u></b>	1,00	
<b>SB</b>	-0,03	-0,19	<b><u>-0,50</u></b>	-0,30	<b><u>-0,42</u></b>	-0,26	<b><u>0,70</u></b>	0,31	<b><u>-0,54</u></b>	<b><u>-0,44</u></b>	<b><u>-0,63</u></b>	0,36	1,00

(\*) MICso = micrófagos, INSso = insetos sociais, SAPso = saprófitos, PREso = predadores, ONVso = onívoros, HERso = herbívoros.

(\*\*) DAP = densidade aparente, Cso = carbono, Nso = nitrogênio, ARG = argila, Pso = fósforo, SB = soma de bases.

Tabela 4C: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis dos grupos de fauna<sup>(\*)</sup> solo e da serapilheira (em negrito e grifado estão correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com  $N=24$ .

		<b>SOLO</b>					
		<b>MICso</b>	<b>INSso</b>	<b>SAPso</b>	<b>PREso</b>	<b>ONVso</b>	<b>HERso</b>
<b>SERAPILHEIRA</b>	<b>MICse</b>	0,04	-0,01	0,19	-0,14	0,07	-0,11
	<b>INSse</b>	-0,15	-0,17	0,34	-0,04	0,10	0,13
	<b>SAPse</b>	0,11	-0,10	0,19	0,06	-0,10	-0,11
	<b>PREse</b>	-0,01	-0,09	-0,01	0,28	0,25	-0,05
	<b>ONVse</b>	-0,26	0,17	0,02	-0,16	0,18	0,10
	<b>HERse</b>	0,22	-0,12	-0,24	-0,24	-0,18	-0,07

(\*) MICso e MICse = micrófagos, INSso e INSse = insetos sociais, SAPso e SAPse = saprófitos, PREso e PREse = predadores, ONVso e ONVse = onívoros, HERso e HERse = herbívoros.

Tabela 4D: Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos da serapilheira<sup>(\*)</sup> e os atributos químicos e físicos do solo<sup>(\*\*)</sup> (em destaque, correlações significativas a pelo menos 5% ( $p < 0,05$ )), com N=24.

		SERAPILHEIRA					
		Nse	Cse	LIG	CEL	POL	Pse
SOLO	pH	<b><u>0,41</u></b>	<b><u>-0,58</u></b>	<b><u>-0,59</u></b>	-0,16	<b><u>-0,52</u></b>	<b><u>0,83</u></b>
	DAP	0,12	-0,10	-0,10	0,30	-0,23	<b><u>0,57</u></b>
	Cso	<b><u>-0,72</u></b>	0,39	<b><u>0,82</u></b>	<b><u>0,66</u></b>	<b><u>0,84</u></b>	<b><u>-0,95</u></b>
	Nso	0,04	0,19	0,02	<b><u>-0,52</u></b>	-0,02	-0,31
	ARG	<b><u>-0,46</u></b>	<b><u>0,44</u></b>	<b><u>0,57</u></b>	0,18	<b><u>0,56</u></b>	<b><u>-0,87</u></b>
	Pso	0,08	-0,005	-0,05	0,33	-0,07	<b><u>0,45</u></b>
	SB	0,17	<b><u>-0,82</u></b>	<b><u>-0,75</u></b>	-0,35	-0,32	<b><u>0,60</u></b>

(\*) Nse = nitrogênio, Cse = carbono, LIG = lignina, CEL = celulose, POL = polifenóis, Pse = fósforo.

(\*\*) pH, DAP = densidade aparente, Cso = carbono, Nso = nitrogênio, ARG = argila, Pso = fósforo, SB = soma de bases

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Modelos com 4 construtos: qualidade e grupos de fauna no sistema solo-serapilheira

Modelo estrutural hipotético, neste caso, com 4 construtos, são eles: qualidade do solo, qualidade da serapilheira, fauna do solo e fauna da serapilheira, sendo 7 indicadores mensuráveis para a qualidade do solo e 6 indicadores mensuráveis para os demais construtos.

A hipótese geral do Modelo 2 (Figura 6) é que a serapilheira acumulada cria um microambiente (retenção de umidade, temperaturas amenas, etc) na camada superficial do solo favorável à maior abundância dos grupos de fauna. A qualidade química da serapilheira composta por diferentes tipos de estruturas (folha, flores, casca, gravetos, frutos, etc) regula favoravelmente os grupos de fauna presentes neste compartimento. Essa maior abundância dos grupos de fauna da serapilheira aumenta a taxa de transferência de material orgânico e de nutrientes para o solo via os processos de decomposição e mineralização, afetando diretamente a qualidade do solo. Por sua vez, a relação direta entre os grupos de fauna da serapilheira e do solo ocorre porque no sistema solo-serapilheira o compartimento mais rico em C, N e P lábil é a serapilheira, que torna este compartimento um microambiente mais dinâmico e atraente para um maior número de organismos que desempenham inúmeras funções dentro do

ecossistema, incluindo participação essencial no processo de ciclagem de nutrientes.

Tem-se como hipóteses específicas do Modelo 2:

H<sub>1</sub>: A qualidade da serapilheira tem relação direta e positiva com a qualidade do solo;

H<sub>2</sub>: A qualidade da serapilheira tem relação direta e positiva com a fauna da serapilheira;

H<sub>3</sub>: A qualidade da serapilheira tem relação direta e positiva com a fauna do solo;

H<sub>4</sub>: A qualidade do solo tem relação direta e positiva com a fauna do solo;

H<sub>5</sub>: A fauna da serapilheira tem relação direta e negativa com a fauna do solo;

H<sub>6</sub>: A fauna da serapilheira tem relação direta e positiva com a qualidade do solo.

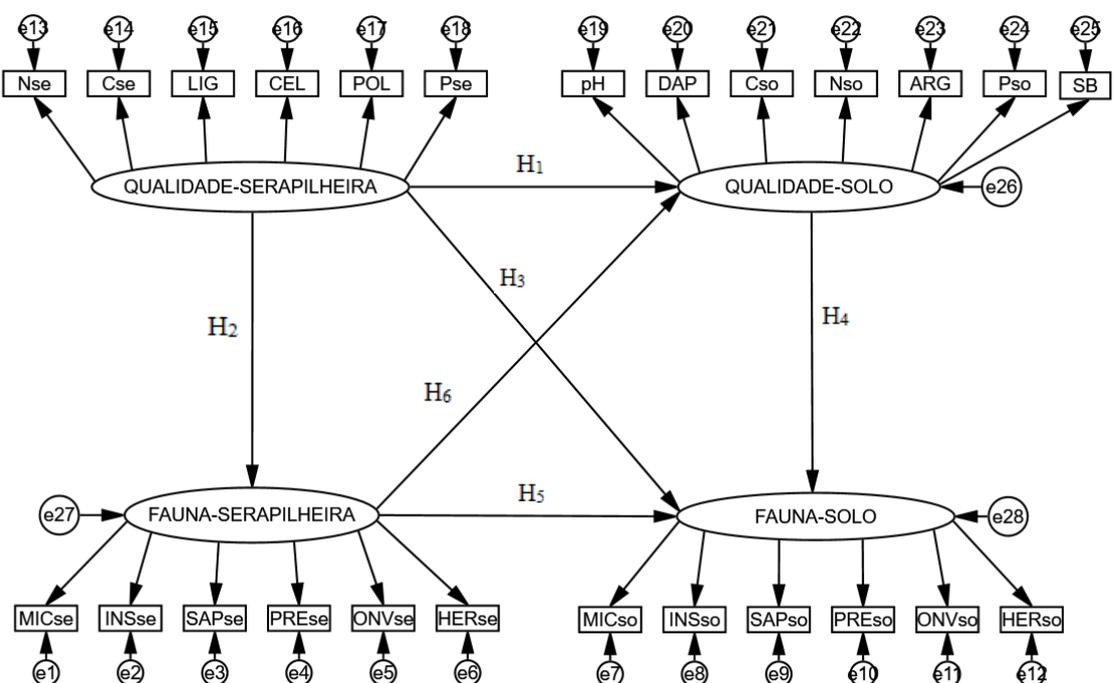


Figura 6: Modelo 2 - modelo estrutural hipotético da qualidade e da fauna do sistema solo-serapilheira.

A seguir são apresentadas as equações estruturais do Modelo 2, porém para descrever as equações estruturais apresenta-se a nomenclatura das variáveis para facilitar a escrita das equações:

a) Variável latente endógena ( $\eta$ ): fauna da serapilheira ( $\eta_1$ ), fauna do solo

( $\eta_2$ ), qualidade do solo ( $\eta_3$ );

b) Variáveis endógenas mensuráveis ( $x$  e  $y$ ):

Serapilheira: MICse ( $y_1$ ), INSse ( $y_2$ ), SAPse ( $y_3$ ), PREse ( $y_4$ ), ONVse ( $y_5$ ), HERse ( $y_6$ ), Nse ( $x_1$ ), Cse ( $x_2$ ), LIG ( $x_3$ ), CEL ( $x_4$ ), POL ( $x_5$ ), Pse ( $x_6$ ).

Solo: MICso ( $y_7$ ), INSso ( $y_8$ ), SAPso ( $y_9$ ), PREso ( $y_{10}$ ), ONVso ( $y_{11}$ ), HERso ( $y_{12}$ ), pH ( $y_{13}$ ), DAP ( $y_{14}$ ), Cso ( $y_{15}$ ), Nso ( $y_{16}$ ), ARG ( $y_{17}$ ), Pso ( $y_{18}$ ), SB ( $y_{19}$ ).

c) Variáveis latentes exógenas ( $\xi$ ): qualidade da serapilheira ( $\xi_1$ );

d) Variável mensurável exógena: Nenhuma;

e) Erro relativo à variável latente endógena ( $\zeta$ ):  $\zeta_1 = e_{27}$ ,  $\zeta_2 = e_{28}$ ,  $\zeta_3 = e_{26}$ ;

f) Erro relativo às variáveis endógenas mensuráveis ( $\delta$  e  $\varepsilon$ ):

$$\begin{aligned} \delta_1 = e_{13}, \delta_2 = e_{14}, \delta_3 = e_{15}, \delta_4 = e_{16}, \delta_5 = e_{17}, \delta_6 = e_{18}, \varepsilon_1 = e_1, \varepsilon_2 = e_2, \varepsilon_3 = e_3, \varepsilon_4 = e_4, \varepsilon_5 = e_5, \\ \varepsilon_6 = e_6, \varepsilon_7 = e_7, \varepsilon_8 = e_8, \varepsilon_9 = e_9, \varepsilon_{10} = e_{10}, \varepsilon_{11} = e_{11}, \varepsilon_{12} = e_{12}, \varepsilon_{13} = e_{19}, \varepsilon_{14} = e_{20}, \varepsilon_{15} = e_{21}, \\ \varepsilon_{16} = e_{22}, \varepsilon_{17} = e_{23}, \varepsilon_{18} = e_{24}, \varepsilon_{19} = e_{25}. \end{aligned}$$

O interesse de avaliação em um modelo de MEE está na determinação das cargas fatoriais representadas pelos  $\lambda$ 's (relações entre as variáveis latentes e as mensuráveis  $x$ ) e  $a$ 's (relações entre as variáveis latentes e as mensuráveis  $y$ ), e as relações estruturais (hipóteses)  $\gamma$ 's (relações entre variáveis latentes), verificando a significância de cada um deles. Na forma de equações estruturais tem-se:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \gamma_{1,1}\xi_1 + \zeta_1 \\ \eta_2 &= \gamma_{2,2}\eta_1 + \gamma_{3,1}\eta_3 + \gamma_{1,2}\xi_1 + \zeta_2 \\ \eta_3 &= \gamma_{2,1}\eta_1 + \gamma_{1,3}\xi_1 + \zeta_3 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
y_1 &= a_{1,1}\eta_1 + \varepsilon_1 & y_{11} &= a_{5,2}\eta_2 + \varepsilon_{11} \\
y_2 &= a_{2,1}\eta_1 + \varepsilon_2 & y_{12} &= a_{6,2}\eta_2 + \varepsilon_{12} \\
y_3 &= a_{3,1}\eta_1 + \varepsilon_3 & y_{13} &= a_{1,3}\eta_3 + \varepsilon_{13} \\
y_4 &= a_{4,1}\eta_1 + \varepsilon_4 & y_{14} &= a_{2,3}\eta_3 + \varepsilon_{14} \\
y_5 &= a_{5,1}\eta_1 + \varepsilon_5 & y_{15} &= a_{3,3}\eta_3 + \varepsilon_{15} \\
y_6 &= a_{6,1}\eta_1 + \varepsilon_6 & y_{16} &= a_{4,3}\eta_3 + \varepsilon_{16} \\
y_7 &= a_{1,2}\eta_2 + \varepsilon_7 & y_{17} &= a_{5,3}\eta_3 + \varepsilon_{17} \\
y_8 &= a_{2,2}\eta_2 + \varepsilon_8 & y_{18} &= a_{6,3}\eta_3 + \varepsilon_{18} \\
y_9 &= a_{3,2}\eta_2 + \varepsilon_9 & y_{19} &= a_{7,3}\eta_3 + \varepsilon_{19} \\
y_{10} &= a_{4,2}\eta_2 + \varepsilon_{10} & &
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
x_1 &= \lambda_{1,1}\xi_1 + \delta_1 \\
x_2 &= \lambda_{2,1}\xi_1 + \delta_2 \\
x_3 &= \lambda_{3,1}\xi_1 + \delta_3 \\
x_4 &= \lambda_{4,1}\xi_1 + \delta_4 \\
x_5 &= \lambda_{5,1}\xi_1 + \delta_5 \\
x_6 &= \lambda_{6,1}\xi_1 + \delta_6
\end{aligned} \tag{16}$$

Nota-se nas equações a relação de dependência existente em cada variável.

O Modelo 2 não foi ajustado, apresentando o mesmo erro que o Modelo 1, pois a matriz de covariância da amostra não foi positiva definida. Foram feitas diversas tentativas de reespecificação do modelo mantendo todas as variáveis observáveis, incluindo covariâncias entre erros ou atribuindo valores pré-fixados aos erros, porém sem sucesso.

Com isso, iniciou-se uma análise individual de cada construto, obtendo assim, 4 modelos de mensuração, sendo o Modelo 3 (fauna-serapilheira), Modelo 4 (fauna-solo), Modelo 5 (qualidade-serapilheira) e Modelo 6 (qualidade-solo), onde foi feita a análise do ajuste e reespecificações quando necessário.

#### 4.1.1. Desenvolvimento de modelos de mensuração com um construto

O construto fauna-serapilheira (Modelo 3) apresentou VE e CR de 27% e 66%, respectivamente. As cargas fatoriais entre fauna-serapilheira e seus respectivos indicadores (grupos funcionais) foram significativas somente para micrófagos, saprófitos e predadores. O Modelo 3 obteve bom ajuste, por isso não houve necessidade de reespecificação (Tabela 5).

O construto fauna-solo (Modelo 4) apresentou valores de VE e CR de 65% e 93%, respectivamente, e apenas os indicadores predadores e micrófagos tiveram cargas fatoriais não significativas. O ajuste do Modelo 4B foi altamente satisfatório, reespecificado com a inclusão das covariâncias entre as variâncias de erros (Tabela 5). O AIC indica que o Modelo 4B tem melhor ajuste que o 4A, mas pelo teste do  $\Delta\chi^2$  indica que o Modelo 4B não é estatisticamente diferente do Modelo 4A ao nível de 5%.

O construto qualidade-serapilheira (Modelo 5) apresentou VE e CR de 64% e 91%, respectivamente. Todas as cargas fatoriais foram significativas, a exceção foi o carbono. Houve ajuste altamente satisfatório do Modelo 5B, reespecificado quando foram estabelecidas as covariações entre as variâncias de erro e as relações diretas significativas do carbono com fósforo, lignina e celulose (Tabela 5). O AIC indica que o Modelo 5B tem melhor ajuste que o 5A e o teste do  $\Delta\chi^2$  indica que o Modelo 5B é estatisticamente diferente do Modelo 5A ao nível de 5%.

O construto qualidade-solo (Modelo 6) apresentou VE e CR de 65% e 93%, respectivamente. Todas as cargas fatoriais foram significativas para os Modelos 6A e 6B. O ajuste do modelo foi com a reespecificação pela inclusão das covariâncias entre as variâncias de erros e o nitrogênio teve uma relação direta significativa com a argila (Tabela 5). O AIC indica que o Modelo 6B tem melhor ajuste que o 6A e o teste do  $\Delta\chi^2$  indica que o Modelo 6B é estatisticamente diferente do Modelo 6A ao nível de 5%.

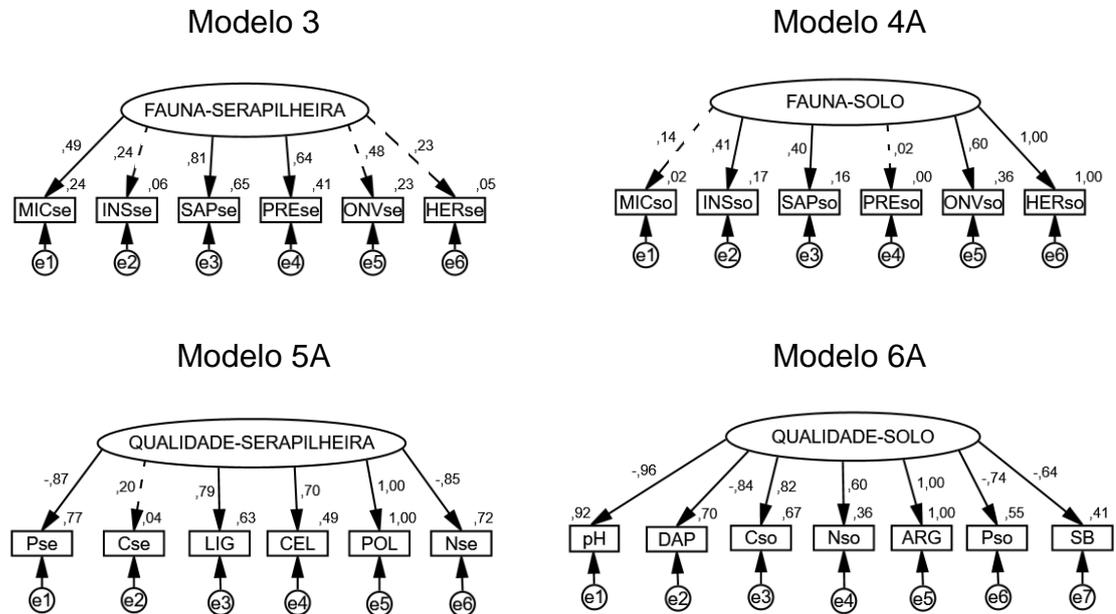


Figura 7: Modelo 3 é o modelo de mensuração fauna-serapilheira com  $X^2 = 8,65$ ,  $df = 9$  e  $p = 0,47$ ; Modelo 4A é o modelo de mensuração fauna-solo com  $X^2 = 17,80$ ,  $df = 10$  e  $p = 0,06$ , foi fixada a variância do erro  $e6 = 0$ ; Modelo 5A é o modelo de mensuração qualidade-serapilheira com  $X^2 = 59,19$ ,  $df = 9$  e  $p = 0,00$ ; Modelo 6A é o modelo de mensuração qualidade-solo com  $X^2 = 90,17$ ,  $df = 15$  e  $p = 0,00$ , fixada a variância do erro  $e5=0$ . Variáveis de erros fixadas zero por apresentarem valores negativos. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais e os valores sobre as variáveis são o  $R^2$ .

Como os resultados dos Modelos 4A, 5A e 6A não foram bons (Tabela 5), a Figura 8 mostra uma reespecificação destes modelos.

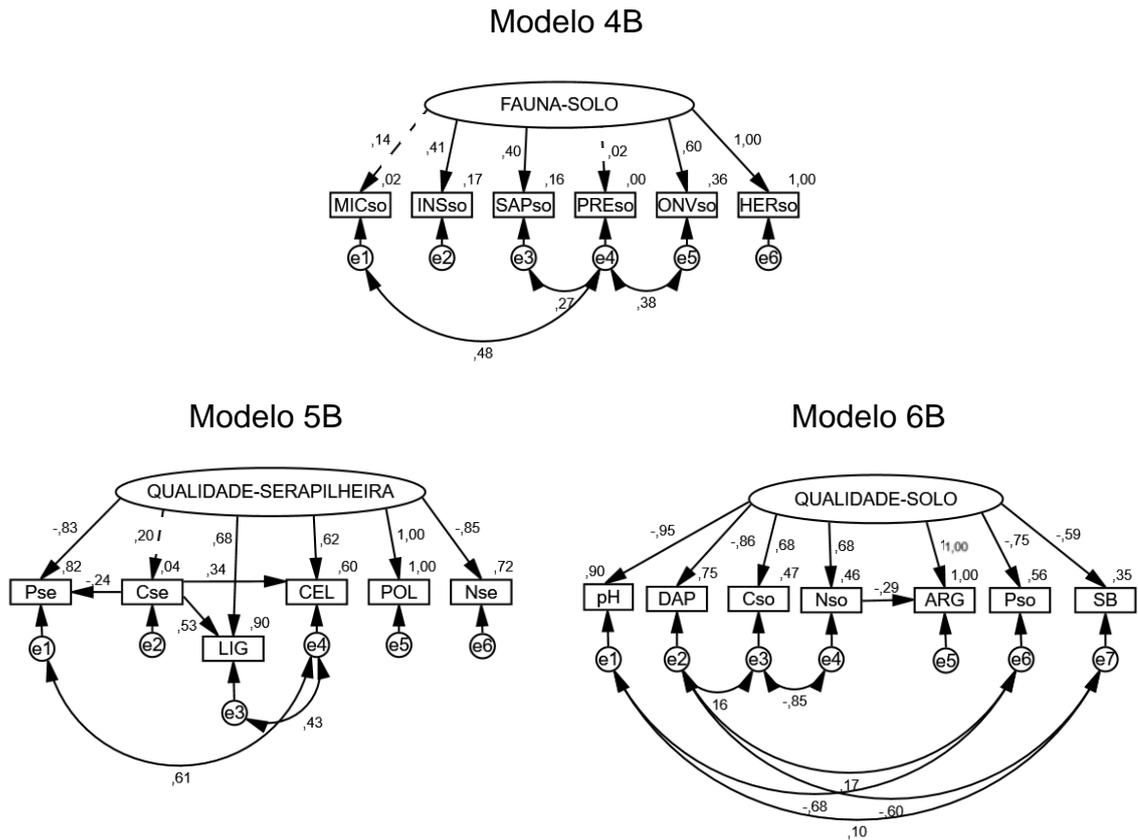


Figura 8: Modelo 4B é o modelo de mensuração fauna-solo com  $X^2 = 5,79$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,56$ , foi fixado  $e6 = 0$ ; Modelo 5B é o modelo de mensuração qualidade-serapilheira com  $X^2 = 8,00$ ,  $df = 5$  e  $p = 0,98$ , fixado  $e5 = 0$ ; Modelo 6B é o modelo de mensuração qualidade-solo com  $X^2 = 14,51$ ,  $df = 9$  e  $p = 0,10$ , fixado  $e5 = 0$ . Variáveis de erros fixadas zero por apresentarem valores negativos. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

Tabela 5: Índices de ajuste dos modelos com 1 construto.

<b>Modelos</b>	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i>	GFI	CFI	TLI	RMSEA	AIC	$\chi^2/df$
<b>3</b>	8,65	9	0,47	0,90	1,00	1,05	0,00	32,65	0,96
<b>4A</b>	17,80	10	0,06	0,84	0,64	0,47	0,18	39,80	1,78
<b>4B</b>	5,79	7	0,56	0,93	1,00	1,12	0,00	33,79	0,83
<b>5A</b>	59,19	9	0,00	0,61	0,66	0,43	0,49	83,19	6,58
<b>5B</b>	8,00	5	0,98	0,99	1,00	1,08	0,00	32,80	0,16
<b>6A</b>	90,17	15	0,00	0,53	0,65	0,52	0,47	116,17	6,01
<b>6B</b>	14,51	9	0,10	0,86	0,97	0,94	0,16	52,51	1,61

De maneira geral, pode-se dizer que os construtos foram elaborados adequadamente e cada modelo representa um modelo de mensuração que se não foi ajustado em seu modelo A, apresentou-se uma reespecificação B com bons ajustes.

#### 4.1.2. Desenvolvimento dos modelos estruturais com 2 construtos

Seguem as análises dos modelos com 2 construtos, sendo modelos estruturais. A hipótese do Modelo 7 (Figura 9) é que a fauna da serapilheira possui relação direta com a fauna do solo.

O Modelo 7 foi adequadamente ajustado em todos os testes, à exceção para GFI (Tabela 6). A covariância entre os indicadores micrófagos e predadores dos construtos fauna-serapilheira e fauna-solo, respectivamente, viabilizou o bom ajuste do modelo. O coeficiente de regressão da relação entre os dois construtos foi muito baixo, negativo e não significativo.

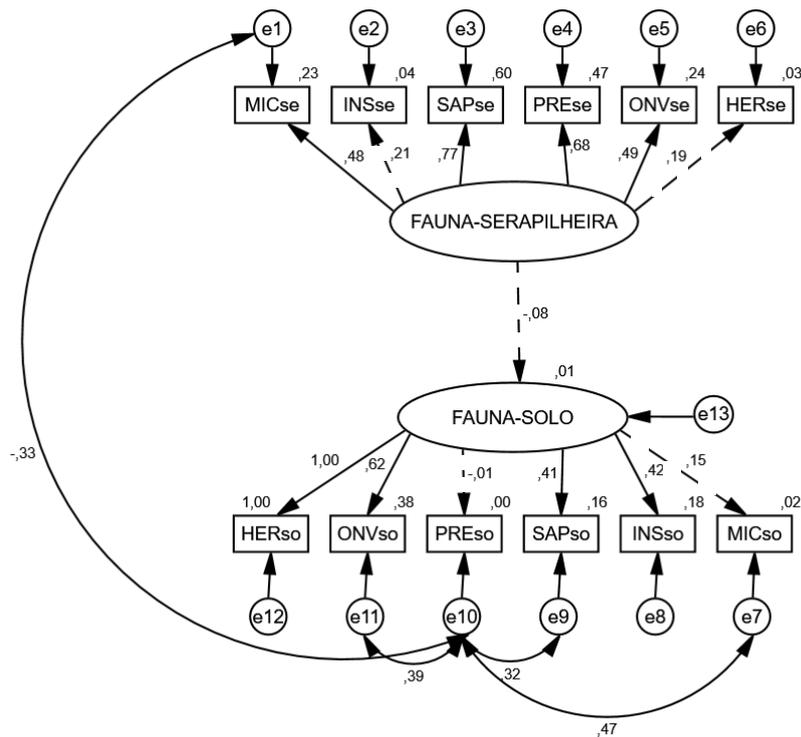


Figura 9: Modelo 7 - Modelo estrutural fauna-serapilheira e fauna-solo com  $\chi^2 = 8,00$ ,  $df = 5$  e  $p = 0,98$ , fixada a variância do erro  $e_{10} = e_{13} = 1$  e  $e_{12} = 0$ . Os valores das variáveis de erros fixados com 1 de forma padrão e zero quando o erro foi negativo. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

A hipótese para o Modelo 8 (Figura 10) é que a qualidade da serapilheira possui relação direta e negativa com a fauna da serapilheira.

O Modelo 8 descreve a relação estrutural dos construtos qualidade-serapilheira com fauna-serapilheira e apresentou ajustes adequados em quase todos os testes, menos para GFI e RMSEA (Tabela 6). O ajuste foi obtido mediante as diversas covariâncias entre os indicadores dos dois construtos, tais como fósforo com insetos sociais, celulose com predadores e onívoros, e mais a relação direta de lignina com saprófitos. O coeficiente de regressão da relação

direta do construto qualidade-serapilheira com fauna-serapilheira foi baixo, negativo e não significativo.

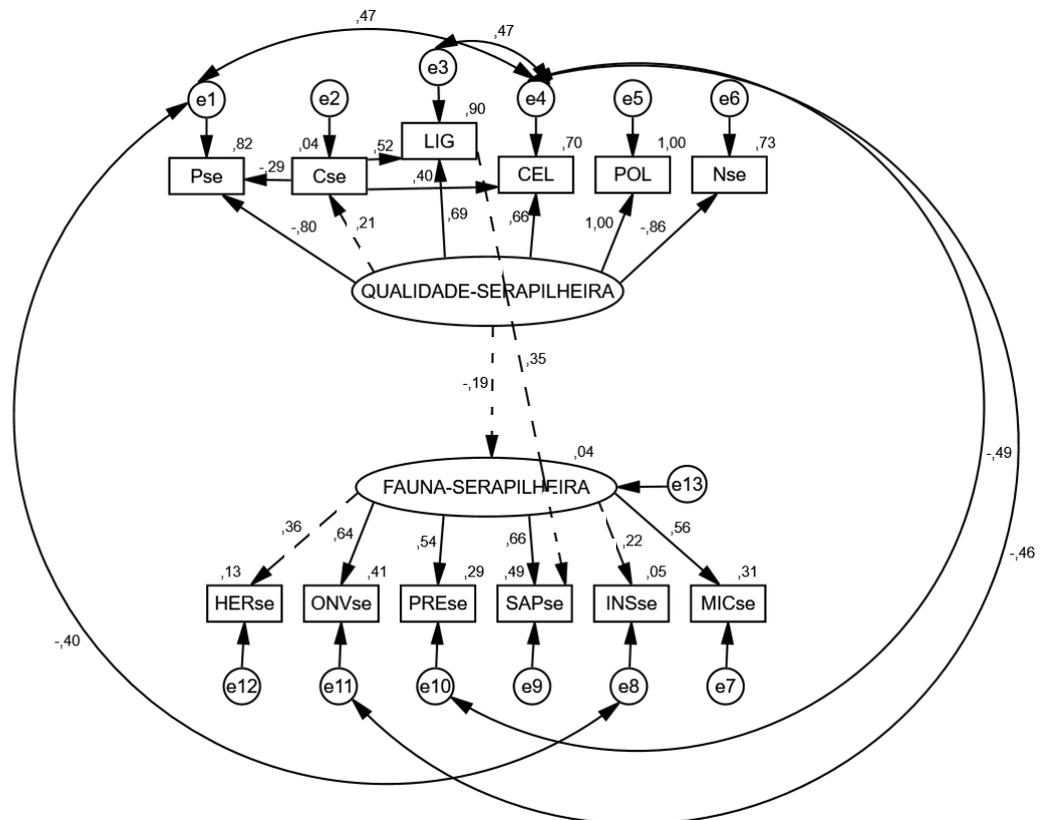


Figura 10: Modelo 8 - Modelo estrutural da qualidade-serapilheira e fauna-serapilheira com  $\chi^2 = 59,19$ ,  $df = 46$  e  $p = 0,09$ , fixada a variância do erro e13 = 1 e e5 = 0. Os valores das variáveis de erros fixados com 1 de forma padrão e zero quando o erro foi negativo. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o R<sup>2</sup>.

A hipótese do Modelo 9 (Figura 11) é que a qualidade do solo possui relação direta e positiva com a fauna do solo.

O Modelo 9 que descreve a relação estrutural dos construtos qualidade-solo com fauna-solo teve ajuste altamente satisfatório em todos os testes (Tabela 6). O ajuste deste Modelo foi alcançado mediante a diminuição do número de indicadores em ambos os construtos. No construto fauna-solo os indicadores

foram somente insetos sociais, saprófitos e onívoros, enquanto no construto qualidade-solo foram retirados os indicadores pH e argila. Além disso, foi necessário estabelecer novas covariâncias, tais como entre fósforo e saprófitos, carbono e soma de base e mais as relações diretas de onívoros com nitrogênio e soma de bases. O coeficiente de regressão da relação entre os dois construtos foi negativo e não significativo.

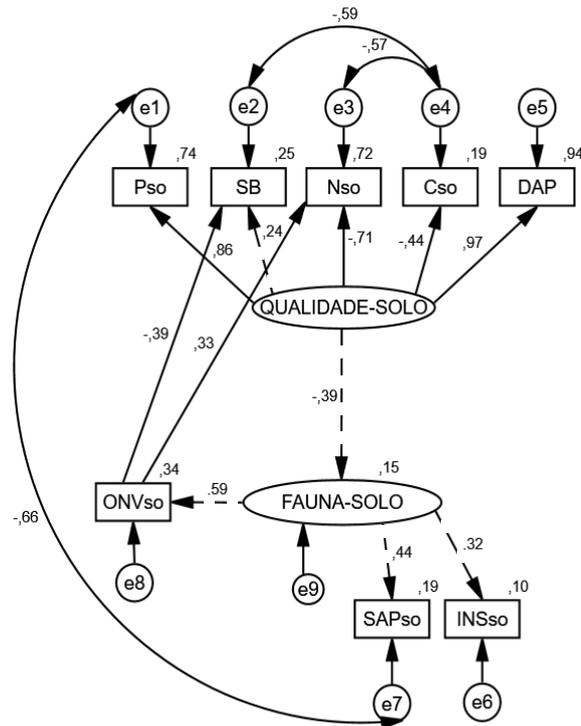


Figura 11: Modelo 9 - Modelo estrutural fauna-solo e qualidade-solo com  $\chi^2 = 10,46$ ,  $df = 14$  e  $p = 0,73$ , não fixada nenhuma variância do erro. Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipótese foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipótese e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

A hipótese do Modelo 10 (Figura 12) é que a qualidade da serapilheira possui relação direta e positiva com a qualidade do solo.

O Modelo 10 que descreve a relação estrutural dos construtos qualidade-serapilheira com qualidade-solo teve ajuste altamente satisfatório (Tabela 6). Para alcançar o ajuste deste modelo foi também necessário a redução de indicadores



Tabela 6: Índices de ajuste dos modelos com 2 construtos.

<b>Modelos</b>	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i>	GFI	CFI	TLI	RMSEA	AIC	$\chi^2/df$
<b>7</b>	53,29	52	0,42	0,77	0,97	0,96	0,03	105,29	1,02
<b>8</b>	59,19	46	0,09	0,75	0,94	0,91	0,11	123,19	1,29
<b>9</b>	10,46	14	0,73	0,91	1,00	1,09	0,00	54,46	0,75
<b>10</b>	5,07	9	0,83	0,95	1,00	1,06	0,00	43,07	0,56

#### **4.1.3. Desenvolvimento de modelos estruturais com 4 construtos e com redução de variáveis mensuráveis**

O Modelo 2 composto por 4 construtos e todas as variáveis mensuráveis disponíveis no banco de dados não obteve ajuste, em razão da matriz de covariância estimada não ter sido positiva definida. Contudo, isso não significa que o modelo não está conceitualmente correto, apenas que ele não é consistente com os dados. Assim, optou-se por reduzir o número de variáveis mensuráveis para então reduzir o número de parâmetros a serem estimados. Com isso, observando os Modelos 3, 4, 5 e 6, utilizou-se alguns critérios de exclusão das variáveis. O primeiro critério foi excluir as variáveis onde se fixou as cargas fatoriais e, ou variância de erro. Como segundo critério, as variáveis com cargas fatoriais não significativas. Em seguida, com base na teoria e, ou correlações, recuperou-se algumas variáveis que foram mais explicativas para o construto.

Para o construto fauna-solo o indicativo era para onívoros, insetos sociais e saprófitos permanecerem no construto usando os critérios estabelecidos, mas, optou-se por substituir os insetos sociais por predadores, pois predadores dariam mais sentido teórico ao construto, além de ter maior correlação com os atributos de qualidade do solo do que os insetos sociais.

Já o construto fauna-serapilheira o indicativo era para saprófitos, predadores, micrófagos e onívoros, permanecerem no construto, mas com 4 indicadores o modelo não obteve bom ajuste, com isso optou-se por manter 3 indicadores para cada construto, assim ficaram saprófitos, onívoros e optou-se por incluir os herbívoros já que na serapilheira a disponibilidade de alimento para os herbívoros é grande.

No construto qualidade-serapilheira apenas o carbono não foi significativo no construto, e optou-se por manter a lignina, os polifenóis e a celulose (compostos recalcitrantes).

Para o construto qualidade-solo todos foram significativos, e optou-se por nitrogênio, pH e fósforo.

Ressalta-se que a teoria aplicada ao Modelo 2 foi mantida e que as relações estruturais inicialmente estabelecidas estão de acordo com a teoria. Com isso chegou-se ao Modelo 11 e em seguida aos Modelos 12 e 13.

No Modelo 11 todas as relações hipotéticas entre os construtos foram mantidas, tais como no Modelo 2. Além disso, foi estabelecida a covariância entre as variáveis de erros da celulose e N, as relações diretas do N com o grupo onívoros de ambos os construtos de fauna, e as relações diretas dos construtos qualidade-serapilheira e fauna-solo com P do solo. Com isso, o Modelo 11 apresentou ajuste satisfatório pelos testes do qui-quadrado, CFI e  $X^2/df$ , mas não pelos testes GFI, TLI e RMSEA (Tabela 7).

Para o Modelo 11, o construto qualidade-serapilheira apresentou VE e CR de 73% e 89%, respectivamente, o construto fauna-serapilheira apresentou VE e CR de 41% e 62%, respectivamente, o construto qualidade-solo apresentou VE e CR de 60% e 79%, respectivamente, e o construto fauna-solo apresentou VE e CR de 30% e 50%, respectivamente.

O construto fauna-solo (variável latente endógena) foi diretamente dependente dos construtos qualidade-serapilheira (variável latente exógena), fauna-serapilheira e qualidade-solo (variáveis latentes endógenas). Contudo, nenhuma dessas relações teve efeito significativo sobre o construto fauna-solo. Por sua vez, a exclusão das relações diretas dos construtos qualidade-

serapilheira e fauna-serapilheira com o construto fauna-solo devido aos baixos valores dos seus coeficientes de regressão piorou o ajuste do modelo, portanto justificou a relevância da manutenção dessas relações. Nesse sentido, esses três construtos em conjunto explicaram 33% da variância total no construto fauna-solo. O efeito geral (direto + indireto) do construto qualidade-serapilheira foi positivo sobre o construto fauna-solo ( $\beta = \{0,16 + [(-0,54) \times (-0,45)] + [(-0,24) \times (-0,02)] + [(-0,24) + (0,27) + (-0,45)]\} = 0,437$ ).

O Modelo 11 mostra que o efeito geral positivo do construto qualidade-serapilheira sobre a fauna-solo foi devido principalmente aos efeitos direto ( $\beta = 0,16$ ) e indireto via construto qualidade-solo ( $\beta = 0,24$ ), enquanto os efeitos indiretos via construto fauna-serapilheira foi muito pequeno.

Das 6 hipóteses específicas, apenas a hipótese H<sub>1</sub> foi confirmada, pois o construto qualidade-serapilheira tem uma relação direta sobre a qualidade-solo com  $\beta = -0,54$  significativo a 5%. A relação negativa entre esses dois construtos não era esperada, esperava-se uma relação positiva, pois a serapilheira seria uma fonte de nutrientes para o solo, mas neste caso o resultado negativo pode indicar que a serapilheira de natureza recalcitrante seria de baixa qualidade e pouco contribuiria para melhorar a fertilidade do solo, particularmente em relação ao nível de acidez como indicado pelas correlações negativas entre o pH do solo e os teores destes compostos recalcitrantes da serapilheira (Tabela 4 D).

As hipóteses específicas das relações diretas dos construtos qualidade-serapilheira sobre a fauna-solo (H<sub>3</sub>), com  $\beta = 0,16$ , e da fauna-serapilheira sobre qualidade-solo (H<sub>6</sub>), com  $\beta = 0,27$ , e da relação da fauna-serapilheira sobre a fauna-solo (H<sub>5</sub>), com  $\beta = -0,02$ , foram rejeitadas, pois foram valores dos  $\beta$ 's não significativos a pelo menos 5%, porém H<sub>3</sub> e H<sub>6</sub> apresentaram sinais positivos e H<sub>5</sub> apresentou sinal negativo de acordo com o esperado. Neste caso a qualidade-serapilheira é fonte de nutrientes para a fauna-solo, a fauna-serapilheira desempenha a decomposição da matéria orgânica que serve como fonte de nutrientes para o solo e a fauna-serapilheira possui uma influência negativa devido ao fato da serapilheira ter maior oferta de carbono e nutrientes disponíveis do que o solo, logo seria esperado maior abundância de grupos de fauna na serapilheira.

A hipótese específica da relação direta do construto qualidade-serapilheira sobre a fauna-serapilheira ( $H_2$ ), com  $\beta = -0,24$ , foi rejeitada e também esperava-se uma relação positiva. O construto qualidade-serapilheira composto somente pelas variáveis indicadores lignina, celulose e polifenóis revelou uma natureza recalcitrante e de baixa qualidade nutricional da serapilheira afetaria negativamente os grupos de fauna nela presentes.

A hipótese específica da relação direta do construto qualidade-solo sobre a fauna-solo ( $H_4$ ), com  $\beta = -0,45$ , foi rejeitada e também esperava-se uma relação positiva. A relação negativa entre esses dois construtos evidencia que em solos fortemente ácidos e de baixa fertilidade haveria certa restrição à atividade dos grupos de fauna do solo.

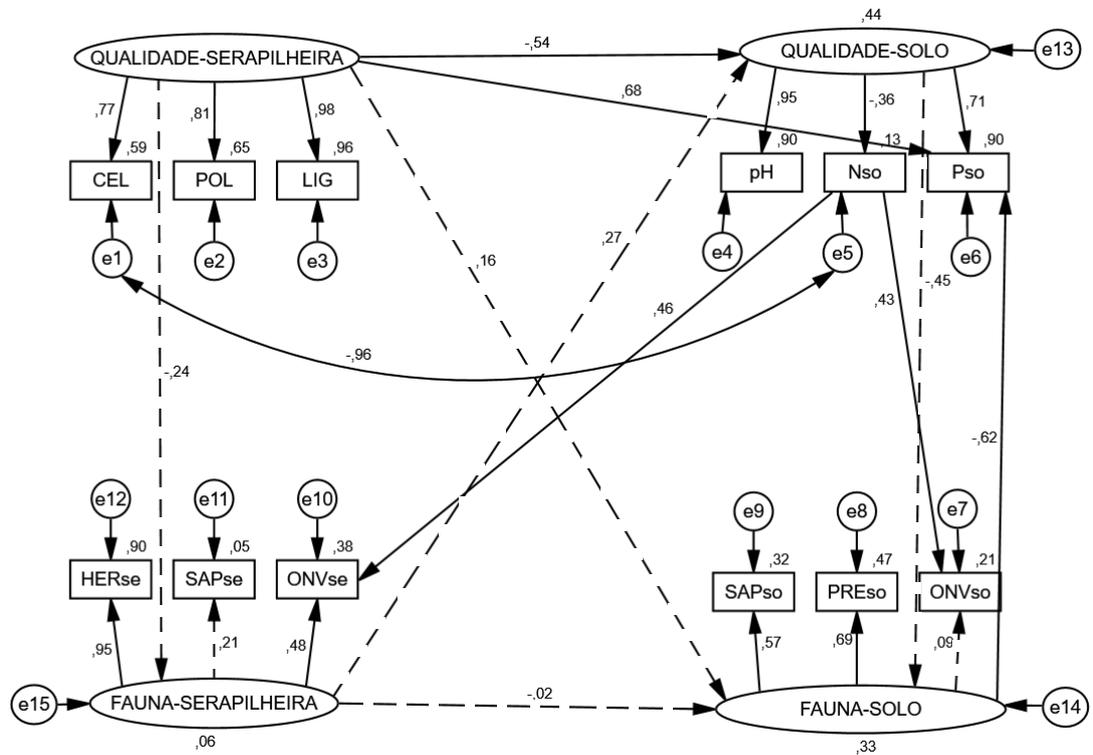


Figura 13: Modelo 11 - modelo estrutural com  $X^2 = 61,45$ ,  $df = 46$  e  $p\text{-value} = 0,06$ , fixados valores de  $e13 = e14 = e15 = 1$  e  $e4 = e6 = e12 = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

No Modelo 12, o construto qualidade-solo passou a ser a variável latente endógena estimada do modelo (Figura 14), ao invés do construto fauna-solo no Modelo 11. Esta mudança no sentido da relação entre os construtos fauna-solo e qualidade-solo não alterou os valores do grau de liberdade e nem dos índices dos testes de ajuste do modelo, sendo que a hipótese neste caso,  $H_4$ , passou a ser que fauna do solo tem relação direta e positiva com a qualidade do solo. Assim, os Modelos 11 e 12 são estatisticamente equivalentes. Não houve efeito direto significativo dos construtos qualidade-serapilheira, fauna-serapilheira e fauna-solo sobre o construto qualidade-solo. Mas, esses três construtos em conjunto explicaram 52% da variância total no construto qualidade-solo. O efeito geral (direto + indireto) do construto qualidade-serapilheira (variável exógena) foi negativo sobre o construto qualidade-solo ( $\beta = \{-0,41 + [(0,40) \times (-0,32)] + [(-0,24) \times (0,23)] + [(-0,24) + (-0,15) + (-0,32)]\} = -0,605$ ).

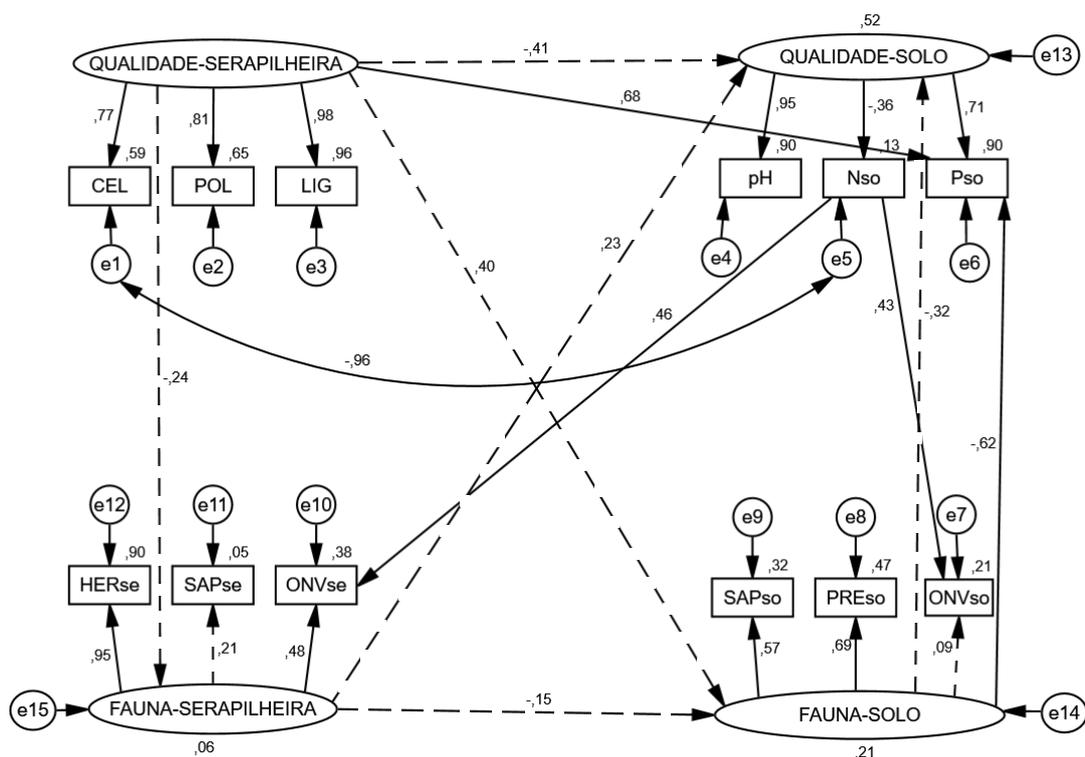


Figura 14: Modelo 12 - modelo estrutural com  $\chi^2 = 61,45$ ,  $df = 46$  e  $p\text{-value} = 0,06$ , fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = e_{15} = 1$  e  $e_4 = e_6 = e_{12} = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

Estes resultados mostram a dificuldade de se estabelecer uma relação de causa-efeito em um sistema ecológico complexo multivariado. Isto pode ser evidenciado no Modelo 12 quando foi invertida a direção da relação entre os construtos fauna-solo e qualidade-solo. Neste modelo, a atividade dos grupos de fauna do solo exerce uma influência negativa sobre a qualidade do solo. Haveria assim uma aparente contradição, quando se considera o papel da fauna do solo em aumentar a taxa de ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O Modelo 13, variação do Modelo 12 mostrado na Figura 15, ilustra a conversão do construto fauna-solo de variável endógena para variável exógena mediante a supressão das relações diretas deste construto com os construtos qualidade-serapilheira e fauna-serapilheira, porém foi inserida uma covariância entre os construtos qualidade-serapilheira e fauna-solo por ambas constituírem variáveis exógenas no modelo. Entretanto, estas modificações não resultaram em distinção significativa entre os dois modelos, em razão do valor do  $\Delta X^2$  demonstrar que os modelos não são estatisticamente diferentes a 5%, e também da similaridade dos valores para os outros testes de ajuste (Tabela 7).

Os Modelos equivalentes 11 e 12 revelaram que as intensidades das relações entre os construtos podem ser alteradas e nestes modelos, não foram alterados os sentidos (positivo e negativo). Assim, no Modelo 12 houve redução do valor do coeficiente de regressão ( $\beta$ ) da influência direta do construto fauna-solo para qualidade-solo. Nas demais relações estruturais houve aumentos dos valores de  $\beta$  das influências diretas do construto fauna-serapilheira para fauna-solo e do construto qualidade-serapilheira para fauna-solo, mas diminuição do  $\beta$  do construto qualidade-serapilheira para qualidade-solo, e praticamente sem alteração do  $\beta$  para a influência direta da qualidade-serapilheira para fauna-serapilheira. Por outro lado, praticamente não houve alteração dos valores de  $\beta$  das relações entre os construtos no Modelo 13 em relação ao Modelo 12.

O Modelo 13 sugere que não há uma relação direta entre os grupos de fauna no sistema solo-serapilheira em agroflorestas maduras de cacau. Isto implica em uma aparente ausência de mobilização da fauna entre esses dois habitats, sugerindo que a ação da fauna seja restrita a especificidade do ambiente.

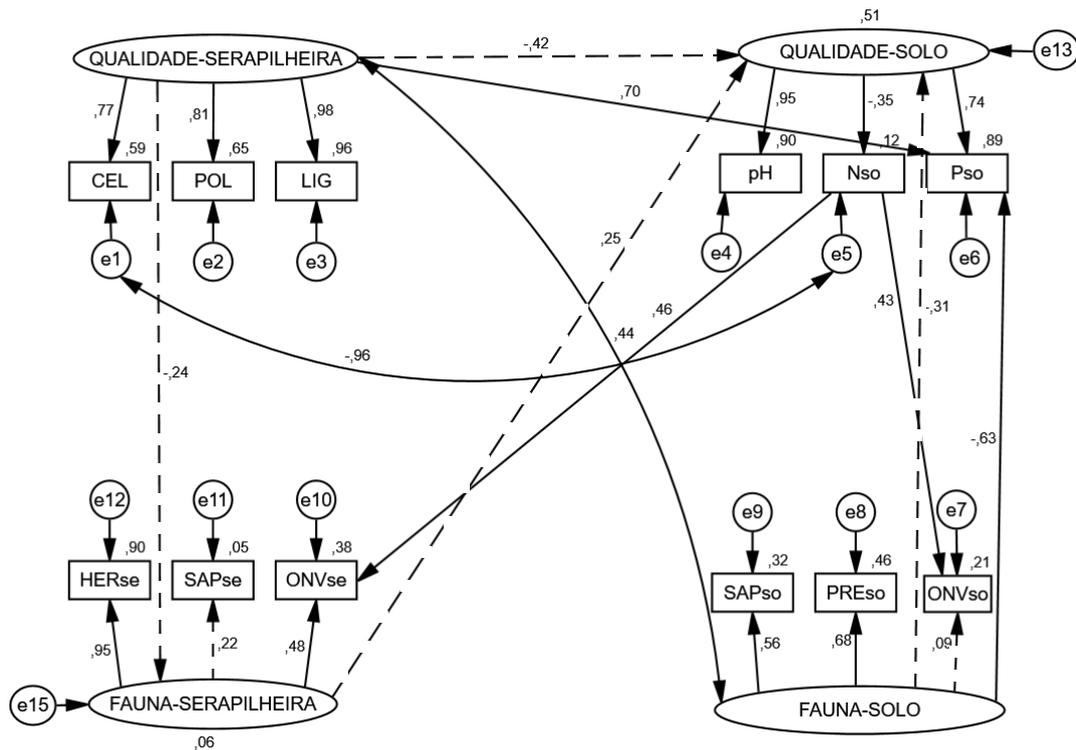


Figura 15: Modelo 13 - modelo estrutural com  $\chi^2 = 61,836$ ,  $df = 47$  e  $p\text{-value} = 0,07$ , fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = e_{15} = 1$  e  $e_4 = e_6 = e_{12} = 0,1$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e a covariância entre os construtos qualidade-serapilheira e fauna-solo é não significativa, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

Tabela 7: Índices de ajuste dos modelos com 4 construtos qualidade e grupos de fauna no sistema solo-serapilheira.

Modelos	$\chi^2$	$df$	$p$	GFI	CFI	TLI	RMSEA	AIC	$\chi^2/df$
11	61,45	46	0,06	0,76	0,90	0,86	0,12	125,45	1,34
12	61,45	46	0,06	0,76	0,90	0,86	0,12	125,45	1,34
13	61,84	47	0,07	0,76	0,91	0,87	0,12	123,84	1,32

O ajuste geral tanto dos modelos de mensuração (Figuras 7 e 8) quanto dos modelos estruturais (Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) evidenciam a plausibilidade teórica da complexa interação entre a fauna do solo e a fauna da serapilheira, ambas influenciadas pela qualidade ambiental de seus nichos, porém a MEE não pode ser usada para descartar a possibilidade que outros modelos não testados poderiam proporcionar um ajuste ainda melhor. A quantidade de variância não explicada nas variáveis endógenas nos Modelos 11, 12 e 13 (Figuras 13, 14 e 15) sugere que há fatores adicionais não mensurados que também influenciam tanto a fauna do solo (Modelo 11) quanto a qualidade do solo (Modelos 12 e 13). Na verdade, esses três modelos estruturais são uma prova que novos caminhos e, ou, nova composição de indicadores das variáveis latentes podem revelar novas relações hipotéticas em um sistema ecológico, particularmente quando os dados são provenientes de amostragem e não em condições de controle experimental.

#### **4.2. Modelo com 4 construtos: grupos de fauna e diversidade de fauna no sistema solo-serapilheira**

Como apresentado no Modelo 1 (Figura 2) os grupos de fauna do sistema solo-serapilheira exercem uma influência sobre a diversidade do solo, e nesta seção foi desenvolvido três modelos para o estudo destas relações.

Hipótese geral para o Modelo 14 (A-C) (Figuras 16, 17 e 18) é que os grupos fauna do solo e da serapilheira são compostos por um conjunto de organismos capazes de desempenhar importantes funções, como a fragmentação de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, aeração, mobilização de nutrientes e controle da cadeia trófica, de forma a produzir uma diversidade favorável à qualidade do solo e da serapilheira e que a diversidade da serapilheira também favorece a diversidade do solo. A diversidade é diretamente relacionada com a riqueza, sendo a riqueza medida pela quantidade de indivíduos encontrados para cada grupo de fauna em cada compartimento (solo e serapilheira). Desta forma, a teoria de que os grupos de fauna estão diretamente relacionados com a

diversidade se confirma já que a riqueza (variável indicadora para diversidade) vem da quantidade de organismos coletados em cada grupo de fauna, pois assim pode-se avaliar as influências de cada grupo de fauna em relação ao total, ou seja, a diversidade do sistema solo-serapilheira.

As hipóteses específicas do Modelo 14A-C são:

H<sub>1</sub>: A fauna da serapilheira tem relação direta e positiva com a diversidade da serapilheira;

H<sub>2</sub>: A fauna do solo tem relação direta e positiva com a diversidade do solo;

H<sub>3</sub>: A diversidade da serapilheira tem relação direta e positiva com a diversidade do solo.

No Modelo 14A (Figura 16) o construto fauna- serapilheira apresentou VE e CR de 30% e 67%, respectivamente. O construto fauna-solo apresentou VE e CR de 24% e 60%, respectivamente.

Observando cada construto do Modelo 14A que o efeito direto de fauna da serapilheira para diversidade da serapilheira foi  $\beta = 0,95$ , o efeito de fauna do solo para diversidade do solo foi  $\beta = 0,93$  e diversidade da serapilheira para diversidade do solo foi  $\beta = 0,15$ . Já o efeito indireto para o construto diversidade do solo, de fauna da serapilheira via diversidade da serapilheira, foi de  $\beta = 0,143$  ( $\beta = 0,95 \times 0,15 = 0,143$ ).

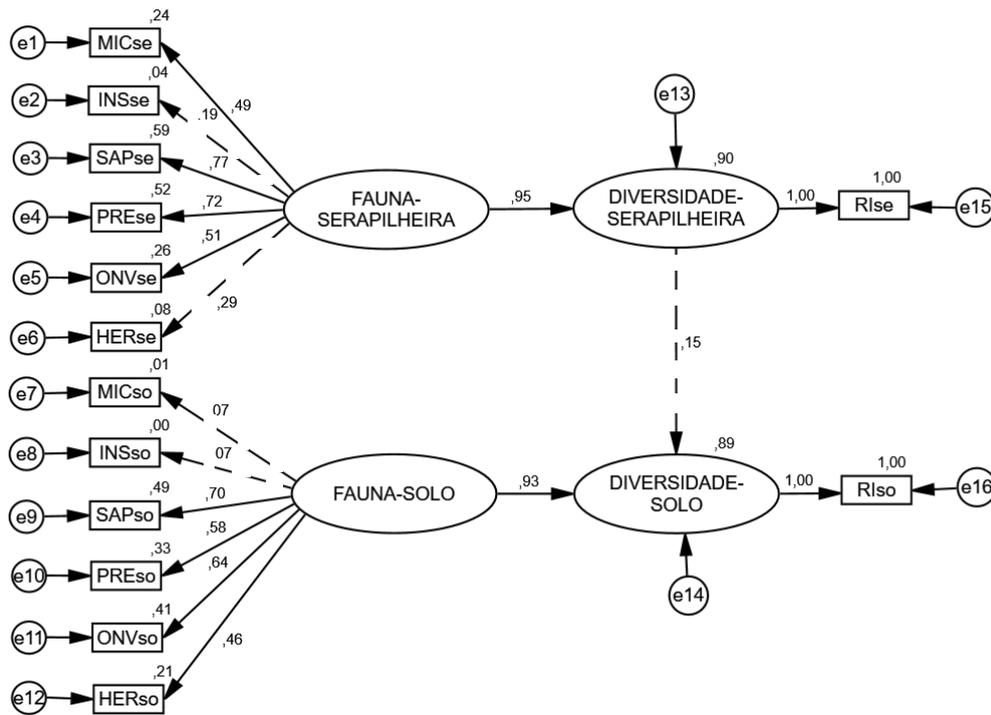


Figura 16: Modelo 14A - Modelo estrutural com  $X^2 = 109,45$ ,  $df = 78$  e  $p\text{-value} = 0,01$ , fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = 0,1$  e  $e_{15} = e_{16} = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

Foi testado também o Modelo 14A com a covariância entre os construtos fauna do solo e fauna da serapilheira, sendo que tal relação não foi significativa e causou uma ligeira piora nos resultados. Na Tabela 8 pode-se ver que o modelo não obteve bom ajuste necessitando ser reavaliado.

Descrevem-se as equações estruturais do Modelo 14A a seguir:

- Variável latente endógena ( $\eta$ ): diversidade da serapilheira ( $\eta_1$ ), diversidade do solo ( $\eta_2$ );
- Variáveis endógenas mensuráveis ( $x$  e  $y$ ): Serapilheira: MICse ( $x_1$ ), INSse ( $x_2$ ), SAPse ( $x_3$ ), PREse ( $x_4$ ), ONVse ( $x_5$ ), HERse ( $x_6$ ), Rlse ( $y_1$ ). Solo: MICso ( $x_7$ ), INSso ( $x_8$ ), SAPso ( $x_9$ ), PREso ( $x_{10}$ ), ONVso ( $x_{11}$ ), HERso ( $x_{12}$ ), Riso ( $y_2$ );

c) Variáveis latentes exógenas ( $\xi$ ): fauna da serapilheira ( $\xi_1$ ), fauna do solo ( $\xi_2$ );

d) Variável mensurável exógena: Nenhuma;

e) Erro relativo à variável latente endógena ( $\zeta$ ):  $\zeta_1 = e_{13}$ ,  $\zeta_2 = e_{14}$ ;

f) Erro relativo às variáveis endógenas mensuráveis ( $\delta$  e  $\varepsilon$ ):

$$\delta_1 = e_1, \delta_2 = e_2, \delta_3 = e_3, \delta_4 = e_4, \delta_5 = e_5, \delta_6 = e_6, \delta_7 = e_7, \delta_8 = e_8, \delta_9 = e_9, \delta_{10} = e_{10}, \\ \delta_{11} = e_{11}, \delta_{12} = e_{12}, \varepsilon_1 = e_{15}, \varepsilon_2 = e_{16}.$$

Assim como foi visto nas equações para o modelo 2, as cargas fatoriais são representadas por  $\lambda$ 's (relações entre as variáveis latentes e as mensuráveis x),  $a$ 's (relações entre as variáveis latentes e as mensuráveis y) e as relações estruturais (hipóteses)  $\gamma$ 's (relações entre variáveis latentes).

Na forma de equações estruturais tem-se:

$$\eta_1 = \gamma_{1,1}\xi_1 + \zeta_1 \tag{17}$$

$$\eta_2 = \gamma_{2,1}\eta_1 + \gamma_{2,2}\xi_2 + \zeta_2$$

$$y_1 = a_{1,1}\eta_1 + \varepsilon_1 \tag{18}$$

$$y_2 = a_{2,2}\eta_2 + \varepsilon_2$$

$$\begin{aligned} x_1 &= \lambda_{1,1}\xi_1 + \delta_1 \\ x_2 &= \lambda_{2,1}\xi_1 + \delta_2 \\ x_3 &= \lambda_{3,1}\xi_1 + \delta_3 \\ x_4 &= \lambda_{4,1}\xi_1 + \delta_4 \\ x_5 &= \lambda_{5,1}\xi_1 + \delta_5 \\ x_6 &= \lambda_{6,1}\xi_1 + \delta_6 \\ x_7 &= \lambda_{1,2}\xi_2 + \delta_7 \\ x_8 &= \lambda_{2,2}\xi_2 + \delta_8 \\ y_9 &= \lambda_{3,2}\xi_2 + \delta_9 \\ x_{10} &= \lambda_{4,2}\xi_2 + \delta_{10} \\ x_{11} &= \lambda_{5,2}\xi_2 + \delta_{11} \\ x_{12} &= \lambda_{6,2}\xi_2 + \delta_{12} \end{aligned} \tag{19}$$

Assim, foi feita uma reespecificação do modelo 14A e obteve-se o modelo 14B. Para reespecificação do Modelo 14B optou-se por não retirar as variáveis com baixas cargas fatoriais e apenas inserir relações de covariâncias.

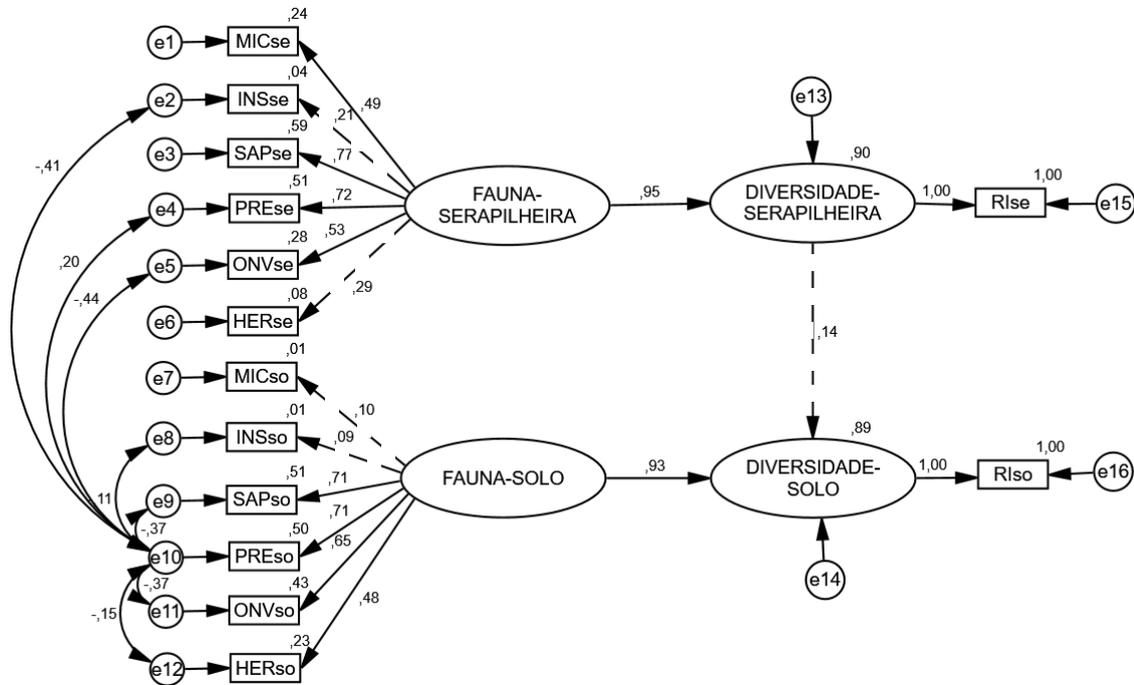


Figura 17: Modelo 14B - Modelo estrutural com  $X^2 = 93,11$ ,  $df = 71$  e  $p$ -value = 0,04, fixados valores de  $e_{13} = e_{14} = 0,1$  e  $e_{15} = e_{16} = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

No Modelo 14C (Figura 18) as hipóteses do modelo e as equações estruturais, as mesmas constantes no Modelo 14A, excluído apenas a equação  $x_7$ , pois foi feita a exclusão da variável mensurável micrófagos do solo, que possuía carga fatorial 0,07, não sendo significativa. Além disso, foi feita covariação entre os erros, conseguindo assim um melhor ajuste para o modelo.

Observando cada construto do Modelo 14C o efeito direto de fauna da serapilheira para diversidade da serapilheira foi  $\beta = 0,95$ , não havendo mudança em relação ao Modelo 14A, o efeito de fauna do solo para diversidade do solo foi  $\beta = 0,93$ , não havendo mudança em relação ao Modelo 14A, e diversidade da serapilheira para diversidade do solo foi um efeito de  $\beta = 0,14$ . Já o efeito indireto

para o construto diversidade do solo, de fauna da serapilheira via diversidade da serapilheira, foi de  $\beta = 0,133$  ( $\beta = 0,95 \times 0,14 = 0,133$ ).

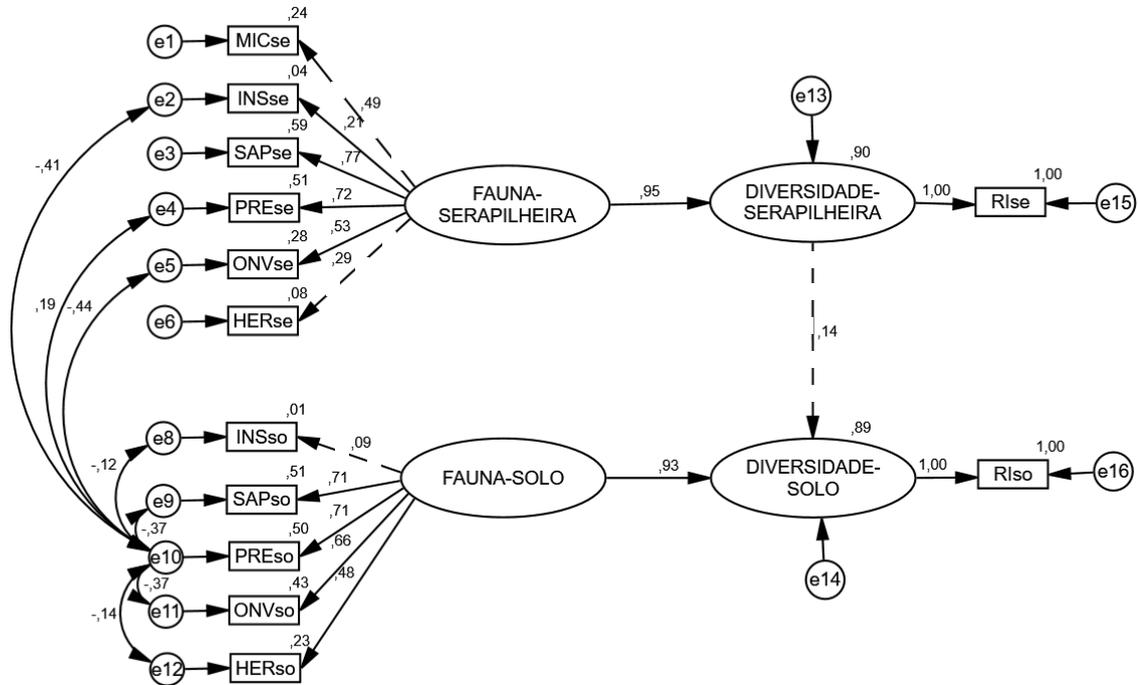


Figura 18: Modelo 14C - Modelo estrutural com  $\chi^2 = 60,364$ ,  $df = 59$  e  $p\text{-value} = 0,426$ , fixados valores de  $e13=e14=0,1$  e  $e15=e16=0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas, sendo os valores que acompanham as setas cargas fatoriais/hipóteses e os valores sobre as variáveis o  $R^2$ .

Tabela 8: Índices de ajuste modelo fauna e a diversidade no sistema solo-serapilheira.

Modelos	$\chi^2$	$df$	$p$	GFI	CFI	RMSEA	TLI	AIC	$\chi^2/df$
<b>14A</b>	109,44	78	0,01	0,68	0,70	0,13	0,65	163,45	1,40
<b>14B</b>	93,11	71	0,04	0,74	0,79	0,12	0,73	161,12	1,31
<b>14C</b>	60,36	59	0,43	0,75	0,98	0,03	0,98	124,36	1,02

O valor de AIC indica que o Modelo 14C foi melhor em relação ao modelo 14A e 14B. Os demais índices também apresentam resultados melhores para o Modelo 14C. E ainda, o  $\Delta\chi^2$  indica que o Modelo 14C é estatisticamente diferente dos Modelos 14A e 14B a 5%. Com isso, o modelo alternativo possui ajuste significativamente melhor, logo, o Modelo 14C é significativamente melhor que os Modelos 14A e 14B.

Foi feito teste colocando a covariância entre as variáveis latentes exógenas, mas não muda significativamente o resultado. Foi feito o teste retirando a variável mensurável insetos sociais do solo, mas não ficou melhor que o Modelo 14C. O teste retirando micrófagos do solo, melhora em relação ao Modelo 14B, mas não em relação ao Modelo 14C. Se retirar micrófagos do solo e insetos sociais do solo não fica melhor em relação ao Modelo 14C. Foi feito também o teste retirando micrófagos e insetos sociais do solo e insetos sociais e herbívoros da serapilheira, apresentando melhora em relação ao Modelo 14A e 14B, mas não em relação ao Modelo 14C.

Para os Modelos 14 A-C as hipóteses específicas de que a fauna-serapilheira tem relação direta com a diversidade-serapilheira e que a fauna-solo tem uma relação direta com a diversidade-solo foram significativas a 5%, e portanto, aceitas. Já a hipótese específica de que a diversidade-serapilheira tem uma relação direta com a diversidade-solo, foi não significativa, e portanto, rejeitada, demonstrando que para estes dados a diversidade da serapilheira não representa um fator de influência significativa sobre a diversidade do solo. Porém, há influência, pois se o caminho entre as diversidades for retirado o ajuste do modelo não fica melhor. Nas três hipóteses esperava-se que as relações fossem positivas e confirmadas pelos resultados.

#### **4.3. Desenvolvimento dos modelos para cada grupo de fauna**

Após as análises anteriores surgiram alguns questionamentos sobre o comportamento das relações entre as variáveis de qualidade do solo e da

serapilheira com cada grupo de fauna presente em cada um destes compartimentos. Com isso, nesta seção foram desenvolvidos 12 modelos, sendo um para cada grupo de fauna do solo e da serapilheira. Como ponto de partida foi usado o conhecimento teórico, ou seja, sabe-se que as variáveis de qualidade do solo e da serapilheira interferem diretamente na fauna, mas como determinar as relações entre as variáveis de qualidade do solo-serapilheira? Para determinar essas relações utilizou-se as análises preliminares do banco de dados e, em especial, a análise de trilha (Apêndice B).

No Modelo I pode-se ver as relações entre as variáveis mensuráveis polifenóis, nitrogênio, celulose, fósforo e lignina, por terem sido as variáveis significativas na análise de trilha, com o construto micróbios, que por sua vez, possui como único indicador, que é a variável micróbios, e neste caso o carbono não foi incluído nas análises. Todas as variáveis mensuráveis são do ambiente da serapilheira, e elas em conjunto explicam 35% da variância total do construto.

A análise do modelo revelou que apenas as relações entre nitrogênio com o construto e polifenóis com lignina foram não significativas a 5%. A relação entre o nitrogênio e o construto foi incluída por que melhorou o ajuste do modelo. Os efeitos diretos para o grupo de fauna que se mostram significativos foram o fósforo e a lignina.

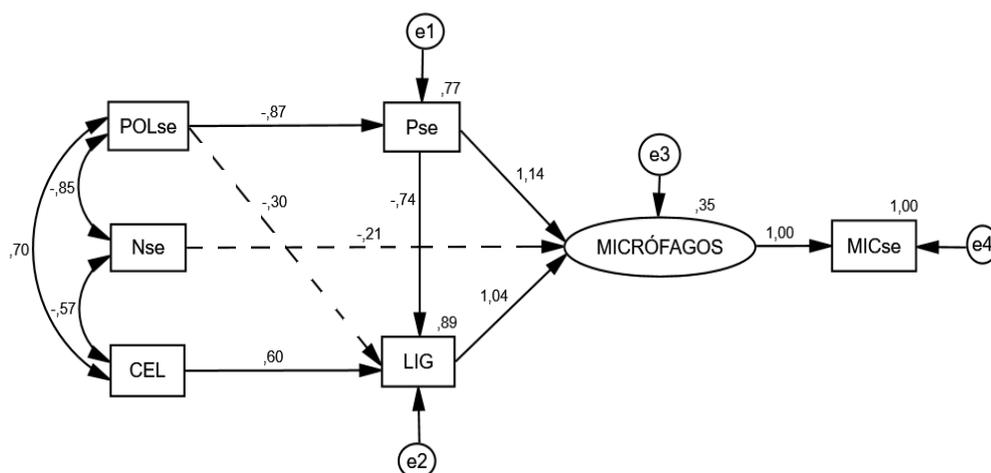


Figura 19: Modelo I - Grupo de fauna micróbios da serapilheira com  $\chi^2 = 2,58$ ,  $df = 5$  e  $p = 0,76$ , com  $e_4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo II é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis lignina, polifenóis, celulose e fósforo com o construto onívoros com único indicador, que é a variável onívoros. Todas as variáveis mensuráveis são da serapilheira, e elas em conjunto explicam 11% da variância total do construto. E neste caso, as relações da celulose e fósforo com o construto não foram significativas a 5%, ou seja, não teve efeito direto significativo entre as variáveis e o grupo de fauna. Já as relações indiretas foram todas significativas. A relação entre celulose e fósforo foi incluída porque melhorou o ajuste do modelo.

Cabe ressaltar que para o modelo II não foram incluídas as variáveis nitrogênio e carbono, por não terem sido significativas nas análises preliminares.

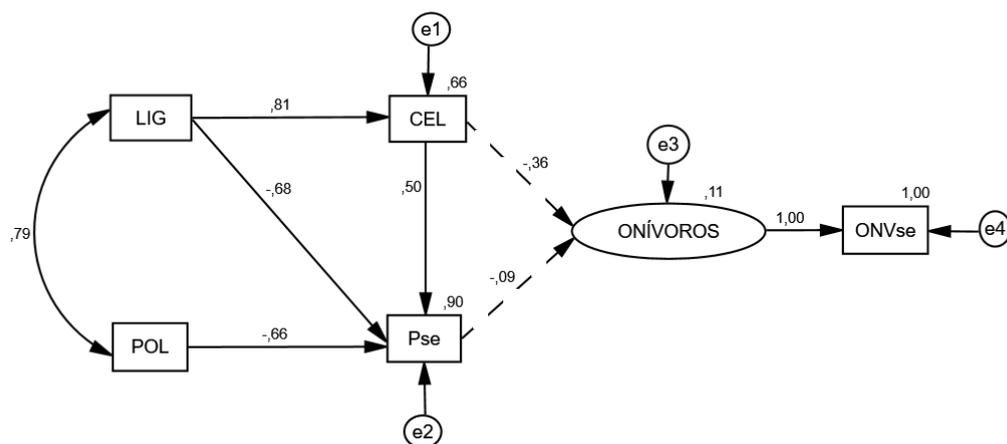


Figura 20: Modelo II - Grupo de fauna onívoros da serapilheira com  $\chi^2 = 4,75$ ,  $df = 3$  e  $p = 0,19$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

No Modelo III foi mostrado um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, polifenóis, celulose e lignina com o construto predadores, com indicador predadores. Todas as variáveis mensuráveis foram da serapilheira, e elas em conjunto explicam 46% da variância total do construto. Neste caso, a análise de trilha revelou que nenhuma variável de qualidade da serapilheira foi significativa em relação ao grupo de fauna predadores.

Mas, como o objetivo foi estudar as relações das variáveis de qualidade com cada grupo de fauna, observou-se nos demais modelos as variáveis que geralmente se apresentavam significativas e como se relacionavam entre si e chegou-se ao modelo.

A análise mostrou que apenas as relações entre nitrogênio e polifenol com a lignina foram não significativas, mas se retiradas não melhoram efetivamente o modelo.

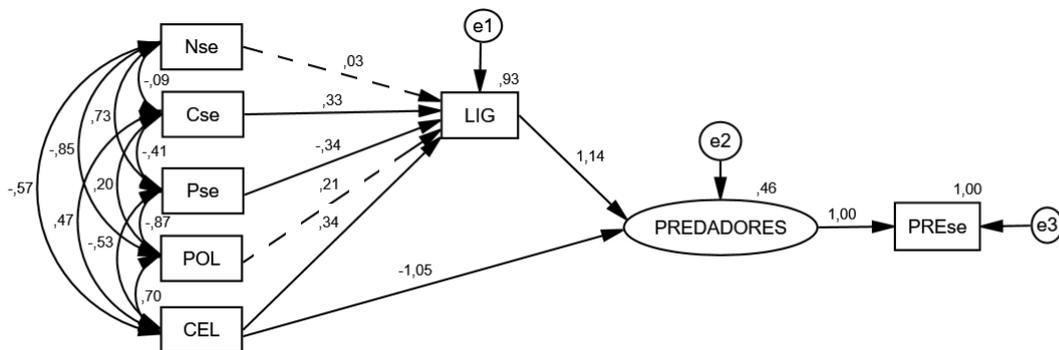


Figura 21: Modelo III - Grupo de fauna predadores da serapilheira com  $X^2 = 3,72$ ,  $df = 4$  e  $p = 0,44$ , com  $e3 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo IV é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, celulose, polifenóis e lignina com o construto saprófitos, com único indicador saprófitos. Todas as variáveis mensuráveis foram no ambiente da serapilheira, e elas em conjunto explicam 22% da variância total do construto. Algumas relações inicialmente inseridas com base nas análises preliminares foram não significativas, e por isso foram excluídas, pois o ajuste do modelo ficou melhor.

No Modelo IV observa-se a presença de relações de ida e volta entre as variáveis polifenóis e lignina. Grace (2006) sugere que em MEE tais relações devem ser evitadas, porém neste modelo o ajuste foi melhor exatamente utilizando tais relações. Apenas a relação do efeito direto de polifenóis com o construto foi não significativa.

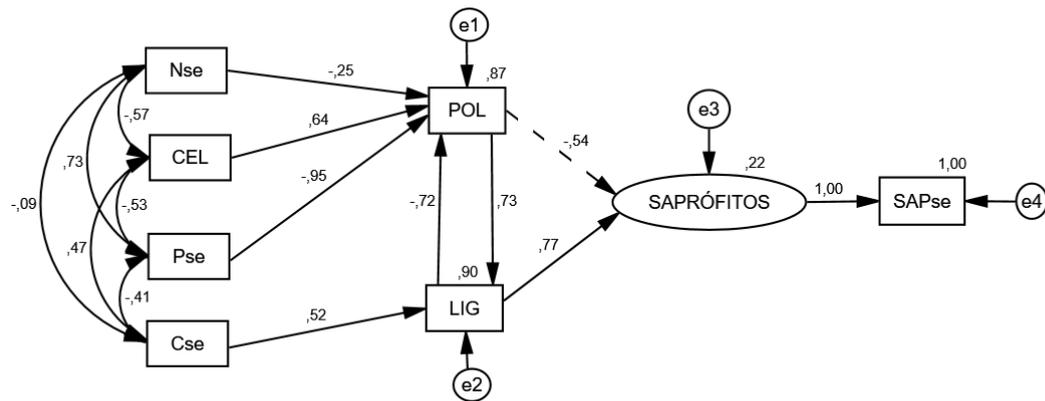


Figura 22: Modelo IV - Grupo de fauna saprófitos da serapilheira com  $\chi^2 = 10,87$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,14$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam relações significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo V é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, celulose, polifenóis e lignina com o construto herbívos, com indicador a variável herbívos. Todas as variáveis mensuráveis foram da serapilheira, e elas em conjunto explicam apenas 6% da variância total do construto. Este modelo não foi construído com base na análise de trilha, pois não houve nenhuma relação significativa.

Utilizou-se o mesmo critério usado para o grupo de fauna predadores, ou seja, observando as variáveis e as relações que mais apareceram nos demais modelos. A princípio foi incluída a relação entre nitrogênio e lignina, mas foi não significativa, então a variável foi eliminada mas o modelo apresentou ajuste pior, e por isso a variável foi mantida, porém sem a relação direta e com apenas a covariância, com isso pode-se dizer que a variável nitrogênio ajusta o modelo. O mesmo foi feito com a variável polifenóis, mas o ajuste piora. Observa-se que a relação direta entre lignina e o construto também foi não significativa.

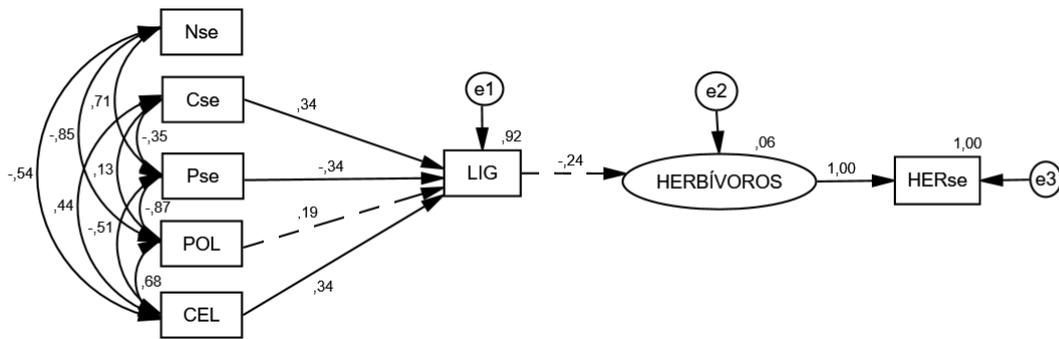


Figura 23: Modelo V - Grupo de fauna herbívoros da serapilheira com  $\chi^2 = 2,56$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,92$ , com  $e3 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo VI também não foi construído com base na análise de trilha, pois nenhuma variável foi significativa. O modelo relaciona as variáveis mensuráveis indicadoras do construto qualidade da serapilheira com o construto insetos sociais, com único indicador, que é a variável insetos sociais. Todas as variáveis mensuráveis por meio do construto explicam apenas 2% da variância total do construto.

Para o Modelo VI usou-se todas as variáveis de qualidade da serapilheira e por isso foi inserido o construto e foi avaliada a relação estrutural que resultou em não significativa. A única carga fatorial não significativa foi a do carbono, porém as relações diretas entre carbono e celulose e carbono e fósforo foram significativas.

A hipótese do modelo é que a qualidade da serapilheira tem uma relação direta com os insetos sociais presentes na serapilheira. Porém, a hipótese foi não significativa, e por isso, rejeitada.

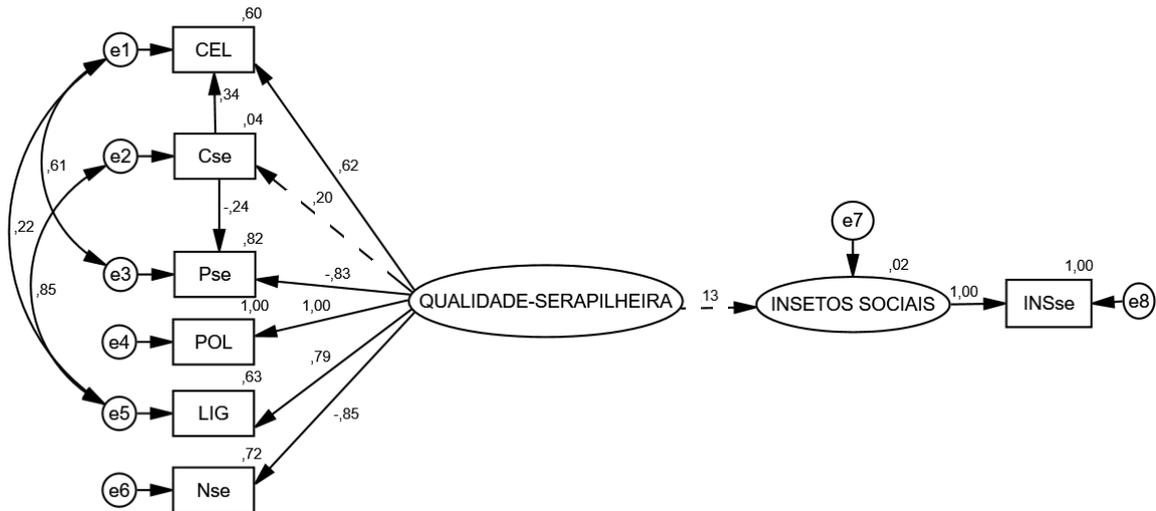


Figura 24: Modelo VI - Modelo estrutural qualidade da serapilheira relacionada com grupo de fauna insetos sociais da serapilheira com  $\chi^2 = 12,21$ ,  $df = 10$  e  $p = 0,27$ , com  $e4 = e8 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

Na Tabela 9, pode-se verificar que dos modelos I a VI, referentes à serapilheira, o ajuste foi bom, com valores de *p-valor* todos significativos acima de 5%, GFI bem próximos de 0,90 ou superior indicando valores ajustados, com todos os valores CFI acima de 0,90, todos os valores de TLI foram próximos de 1,0, demonstrando ajuste. O RMSEA dos Modelos I, II e IV foram maiores que 0,10, demonstrando ainda valor alto para este índice, demonstrando que são modelos que podem ser melhorados através de reespecificações. A razão  $\chi^2/df$ , para todos os modelos, demonstra bom ajuste sendo menor que 3. Para estes modelos o AIC foi apenas demonstrado não sendo utilizado para comparação, pois não foi apresentada reespecificação de mesmos modelos, todos os modelos envolveram grupos de faunas diferentes.

Na análise dos modelos em MEE espera-se uma estimativa da magnitude dos efeitos estabelecidos entre variáveis, sendo estas estimativas condicionadas ao fato do modelo especificado estar correto, e é possível testar se o modelo é consistente com os dados observados. Se o modelo e os dados são consistentes, pode-se dizer que este é plausível. Neste sentido os modelos apresentados

demonstram ser plausíveis devido ao bom ajuste. Porém, os modelos são uma primeira tentativa de análise e não significa que sejam únicos e definitivos, podendo ser reespecificados e inseridas novas variáveis, e também modificar o sentido, inserir ou excluir relações.

Tabela 9: Índices de ajuste dos modelos grupos de fauna da serapilheira.

<b>Modelo</b>	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>P</i>	GFI	CFI	TLI	RMSEA	AIC	$\chi^2/df$
<b>I</b>	2,58	5	0,76	0,97	1,00	1,02	0,18	39,80	1,78
<b>II</b>	4,75	3	0,19	0,93	0,98	0,94	0,16	28,75	1,58
<b>III</b>	3,72	4	0,44	0,96	1,00	1,01	0,00	51,72	0,93
<b>IV</b>	10,87	7	0,14	0,90	0,97	0,92	0,19	52,87	1,55
<b>V</b>	2,56	7	0,92	0,97	1,00	1,09	0,00	44,56	0,36
<b>VI</b>	12,21	10	0,27	0,89	0,99	0,97	0,10	48,21	1,22

Os Modelos VII a XII são referentes às variáveis do solo. O modelo VII não foi construído com base na análise de trilha, pois nenhuma variável foi significativa. Os modelos VI e VII possuem uma estrutura semelhante, porém com variáveis de qualidade da serapilheira para o modelo VI e de qualidade do solo para o modelo VII, com uma relação estrutural com inclusão de dois construtos.

O modelo relaciona as variáveis mensuráveis indicadoras do construto qualidade do solo, menos a argila e a densidade aparente, pois com tais variáveis o ajuste do modelo ficou comprometido, com o construto micróbios, que por sua vez, possui o indicador micróbios. Todas as variáveis mensuráveis por meio do construto explicam 18% da variância total do construto.

A hipótese do modelo é que a qualidade do solo tem uma relação direta com os micróbios presentes no solo. A hipótese foi significativa, sendo aceita. Observa-se que a única carga fatorial não significativa foi a do carbono, porém a relação direta da soma de bases para carbono foi significativa.

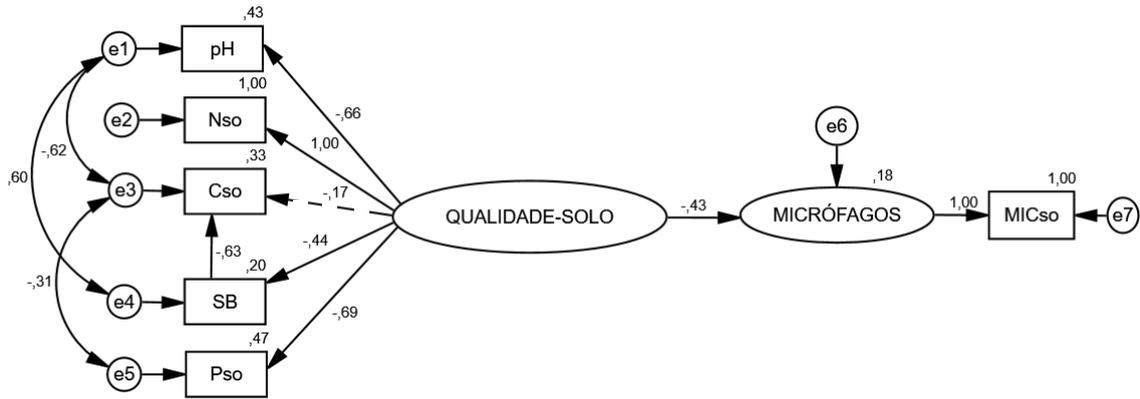


Figura 25: Modelo VII - Modelo estrutural da qualidade do solo com o grupo de fauna micrófagos do solo com  $\chi^2 = 12,13$ ,  $df = 6$  e  $p = 0,06$ , com  $e2 = e7 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais/hipóteses foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo VIII é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, soma de bases, pH e argila com o construto onívoros, com indicador onívoros. Todas as variáveis mensuráveis em conjunto explicam 25% da variância total do construto.

Neste caso havia o indicativo de uma relação direta entre a argila e o pH, porém o modelo apresenta bom ajuste sem tal relação. A única relação não significativa foi da soma de bases para o pH.

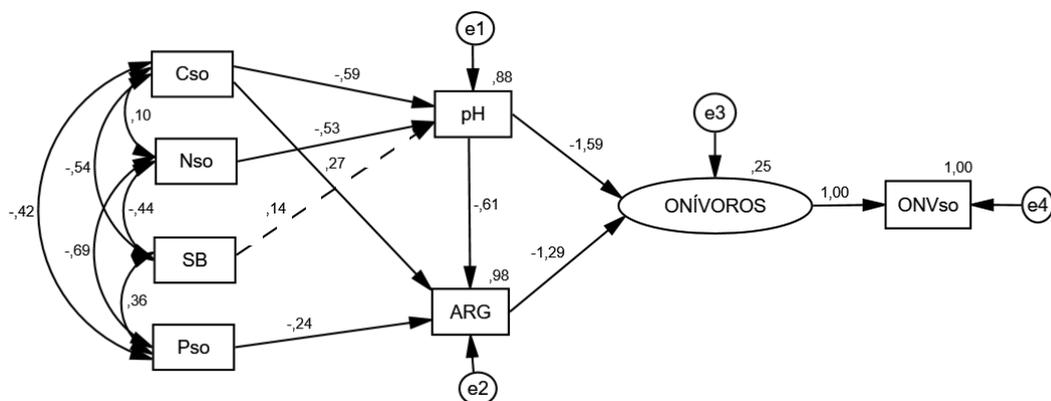


Figura 26: Modelo VIII - Grupo de fauna onívoros do solo com  $\chi^2 = 10,43$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,16$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo IX é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, soma de bases, pH e argila com o construto predadores, que por sua vez, possui como único indicador, que é a variável predadores. Todas as variáveis mensuráveis em conjunto explicam 37% da variância total do construto.

Os modelos VIII e IX possuem estruturas iguais, porém o modelo IX não foi desenvolvido a partir da análise de trilha, mas houve ajuste com as mesmas variáveis significativas. A única relação não significativa foi da soma de bases para o pH.

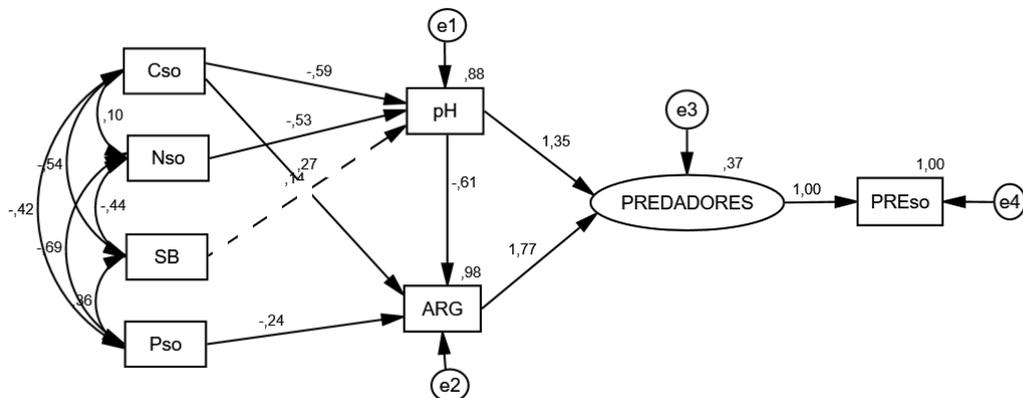


Figura 27: Modelo IX - Grupo de fauna predadores do solo com  $X^2 = 8,49$ ,  $df = 7$  e  $p = 0,29$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo X é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, fósforo, soma de bases, pH e argila com o construto saprófitos, que por sua vez, possui como único indicador, que é a variável saprófitos. Todas as variáveis mensuráveis explicam em conjunto 44% da variância total do construto.

Havia indicativo de relação direta entre nitrogênio, soma de bases e a argila, entre soma de bases e pH, mas não apresentaram bom ajuste e não havia indicativo de relação direta entre fósforo e argila, mas foi incluída. Por fim, todas as relações foram significativas.

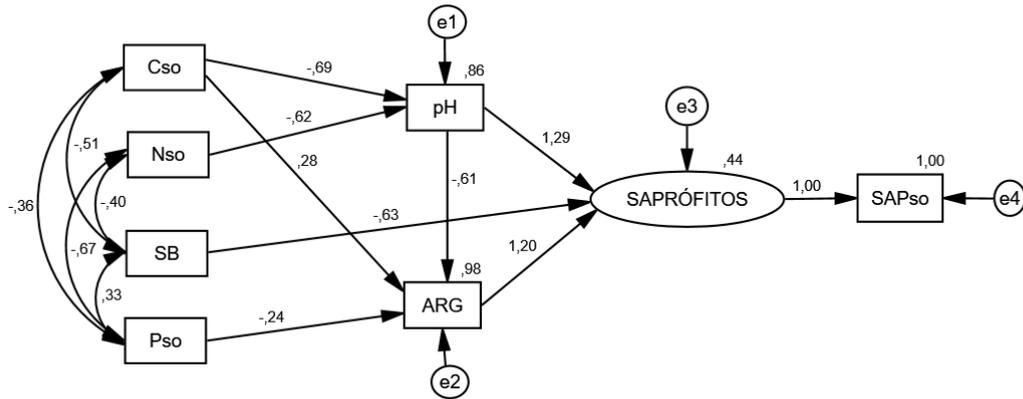


Figura 28: Modelo X - Grupo de fauna saprófitos do solo com  $X^2 = 7,79$ ,  $df = 8$  e  $p = 0,45$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5%.

O Modelo XI é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, soma de bases, pH e argila com o construto herbívoros, que por sua vez, possui como único indicador a variável herbívoros. Todas as variáveis mensuráveis explicam em conjunto apenas 2% da variância total do construto. As relações diretas entre nitrogênio e o construto e o pH, entre pH e o construto e entre carbono e o construto e pH foram não significativas.

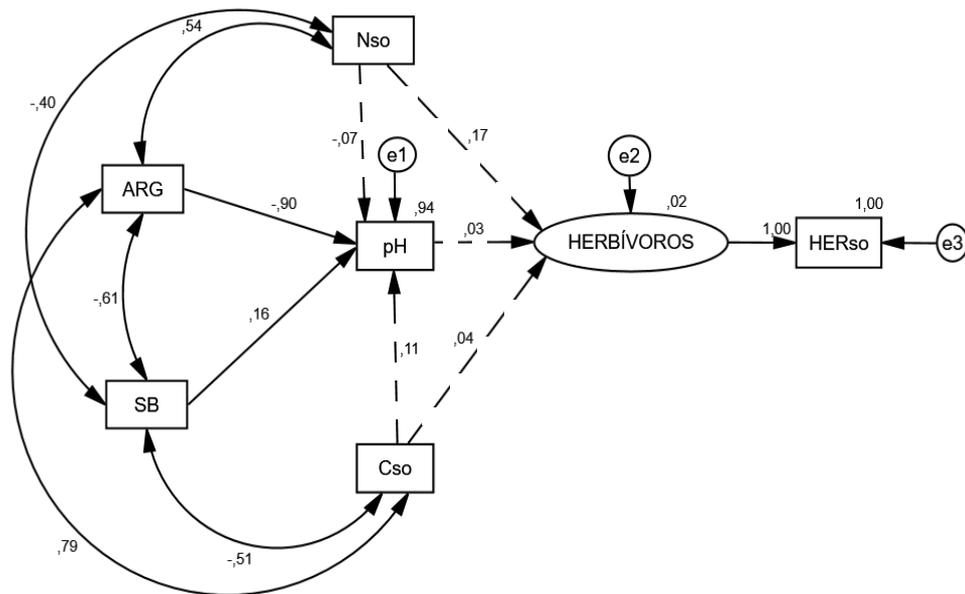


Figura 29: Modelo XI - Grupo de fauna herbívoros do solo com  $X^2 = 4,283$ ,  $df = 3$  e  $p = 0,23$ , com  $e3 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

O Modelo XII é um modelo que relaciona as variáveis mensuráveis nitrogênio, carbono, soma de bases, fósforo, pH e argila com o construto insetos sociais, que por sua vez, possui como único indicador a variável insetos sociais. Todas as variáveis mensuráveis explicam em conjunto apenas 9% da variância total do construto. A variável fósforo não constava na análise inicial, mas foi incluída para análise do modelo. As relações entre soma de bases e pH, pH e o construto e argila e o construto foram não significativas.

Para os modelos de VII a XII, não foi incluído a densidade aparente, pois não foi significativa em nenhuma das análises.

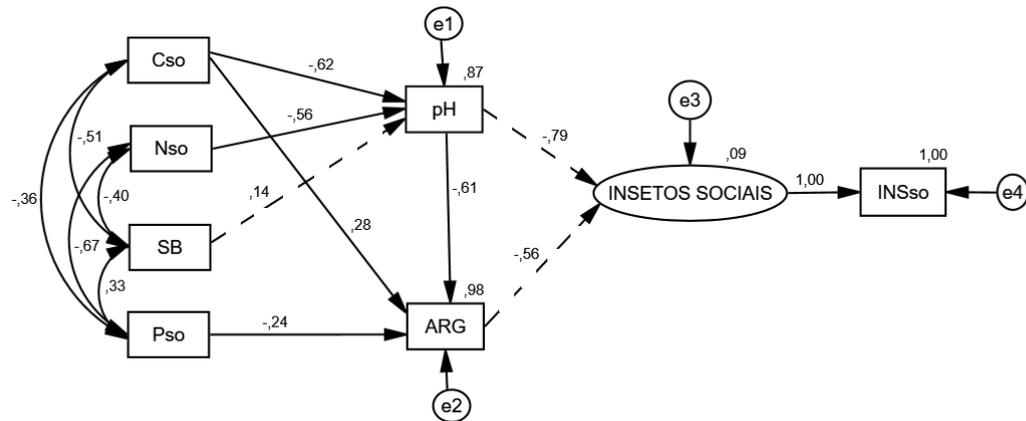


Figura 30: Modelo XII - Grupo de fauna insetos sociais do solo com  $\chi^2 = 4,75$ ,  $df = 8$  e  $p = 0,78$ , com  $e4 = 0$ . Setas contínuas significam que as cargas fatoriais foram significativas a pelo menos 5% e as setas pontilhadas são não significativas.

A Tabela 10 mostra que todos os modelos apresentam bons ajustes com valores demonstrando o ajuste dos Modelos VII a XII. Com valores de *p-valor* todos significativos acima de 5%, GFI bem próximos de 0,90 ou superior indicando valores adequados, com todos os valores CFI acima de 0,90, o TLI do modelo VII foi o único com valor mais distante de 1,0, não sendo muito adequado, mas os demais foram melhores. O RMSEA dos modelos VII, VIII e XI foram maiores que 0,10, não sendo adequado, demonstrando que são modelos que podem ser melhorados através de reespecificações. A razão  $\chi^2/df$ , para todos os modelos, demonstra bom ajuste sendo menor que 3. Para estes modelos o AIC também foi apenas demonstrado não sendo utilizado para comparação, pois não foi apresentada reespecificação de mesmos modelos, todos os modelos envolveram grupos de faunas diferentes.

Tabela 10: Índices de ajuste dos modelos grupos de fauna do solo.

<b>Modelo</b>	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i>	GFI	CFI	TLI	RMSEA	AIC	$\chi^2/df$
<b>VII</b>	12,13	6	0,06	0,87	0,93	0,82	0,21	42,13	2,02
<b>VIII</b>	10,43	7	0,16	0,88	0,98	0,94	0,15	52,43	1,49
<b>IX</b>	8,49	7	0,29	0,91	0,99	0,97	0,10	50,48	1,21
<b>X</b>	7,79	10	0,45	0,92	1,00	1,00	0,00	47,79	0,97
<b>XI</b>	4,28	3	0,23	0,95	0,99	0,95	0,14	40,28	1,43
<b>XII</b>	4,75	8	0,78	0,95	1,00	1,05	0,00	44,75	0,59

Com os resultados apresentados nesta seção pode-se verificar o quanto as variáveis de qualidade do solo-serapilheira se relacionam com cada grupo de fauna. Mostrou-se os efeitos distintos que há entre variáveis de qualidade com cada grupo de fauna, e que em MEE é possível incluir ou excluir variáveis e caminhos de acordo com a necessidade do pesquisador do modelo se ajustar aos dados.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

No presente estudo foi proposto modelos conceituais das relações entre a comunidade de invertebrados no solo e na serapilheira, qualidade do solo e da serapilheira e a diversidade do solo e da serapilheira sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau.

No Modelo 1 composto pelas relações entre qualidade, diversidade de fauna e grupos de fauna do sistema solo-serapilheira e no Modelo 2 composto pelas relações entre qualidade e grupos de fauna do sistema solo-serapilheira não apresentaram ajuste. A partir destes modelos foram apresentados Modelos 3 a 6, sendo modelos de mensuração que apresentaram ajustes adequados e analisando os construtos com base na confiabilidade e variância extraída verificou-se que se mostraram adequados com todas as variáveis disponíveis. Com isso, pode-se concluir que os Modelos 1 e 2 não apresentaram ajuste devido à limitação do tamanho banco de dados, pois é considerado pequeno (Iacobucci, 2009) para quantidade de parâmetros a serem estimados quando todos os construtos compostos por todas as variáveis mensuráveis foram relacionados em um único modelo.

Os Modelos 7 a 13, mostraram-se ajustados, retratando as relações entre qualidade do solo, a qualidade da serapilheira, os grupos de fauna do solo e da serapilheira. Como os modelos apresentaram bons ajustes foram considerados plausíveis e pode-se dizer que os modelos são admissíveis podendo ainda serem reespecificados. Os modelos mostram também que a análise individual do construto orienta o pesquisador, mas não deve ser utilizada de forma definitiva

para exclusão de variáveis, pois se utilizou variáveis que não obtiveram significância na análise individual do construto, mas quando se reduziu o número de indicadores passou a apresentar bom resultado, como aconteceu no Modelo 11 com predadores do solo e herbívoros da serapilheira.

O Modelo 11 consiste em um submodelo do Modelo 2 com redução de variáveis, permanecendo as mesmas relações estruturais. Para estes modelos a qualidade da serapilheira constitui o fator regulador da abundância dos grupos de fauna e do nível de fertilidade do solo. Ele apresentou bom ajuste geral, porém na análise das hipóteses específicas apenas a hipótese de que a qualidade da serapilheira tem uma relação direta, porém negativa, com a qualidade do solo foi aceita, as demais hipóteses foram rejeitadas. Isso não quer dizer que o modelo não está correto, apenas demonstra para o banco de dados estudado que obteve-se tal resultado. Também não é o caso de excluir as relações não significativas já que o modelo perderia sua consistência teórica, pois mesmo que apresentando uma relação não significativa existe uma influência relacional. No Modelo 13 observou-se que retirando a relação de fauna-serapilheira para fauna-solo o ajuste ficou com valores levemente piores.

Os Modelos 12 e 13 foram uma tentativa de melhorar o ajuste para o Modelo 11, porém sem uma diferença significativa, sendo o Modelo 12 considerado equivalente do Modelo 11. Mas pode-se dizer que nos Modelos 11, 12 e 13 os grupos de fauna da serapilheira e do solo e as qualidades do solo e da serapilheira estão conectados, mas a intensidade dessas relações depende da força e do tipo de interações entre espécies de fauna e os indicadores de qualidade.

Para o Modelo 14 (A-C) foi possível verificar a intensidade da relação entre os grupos de fauna e a diversidade do solo e da serapilheira. Para o modelo 14 (A-C) apenas a hipótese de que a diversidade da serapilheira tem uma relação direta com a diversidade do solo foi rejeitada, demonstrando uma boa consistência dos dados neste modelo, e a forte relação dos grupos de fauna na diversidade do solo.

Para os Modelos I ao XII que representam as relações entre as variáveis de qualidade com cada grupo de fauna, de acordo com cada compartimento solo

ou serapilheira, pode-se observar que as relações foram distintas em sua maioria levando a conclusão de que as variáveis de qualidade exercem influências distintas dependendo do grupo de fauna.

Os resultados do estudo das relações entre qualidade e a diversidade de fauna do sistema solo-serapilheira evidenciaram que os modelos não são únicos e que possivelmente podem ser melhorados levando-se em conta os dados disponíveis e a teoria.

Todos os modelos ajustados no presente estudo são a primeira inferência para compreender o papel da fauna do solo na ciclagem de nutrientes em agroflorestas de cacau. A modelagem de equações estruturais com variáveis latentes mostrou ser uma ferramenta adequada na compreensão da complexidade das relações dos grupos de fauna, qualidade e diversidade no sistema solo-serapilheira, indicando o quanto as alterações na composição de uma variável latente podem afetar as outras variáveis latentes. Com os modelos estudados verificou-se que a MEE é aplicável a área de solos e nutrição de plantas em sistemas agroflorestais de cacau.

Para trabalhos futuros fica a possibilidade de reespecificações, utilização de variáveis mensuráveis não utilizadas nos modelos apresentados e teste com outros bancos de dados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allison, V. J., Yermakov, Z., Miller, R. M., Jastrow, J. D., Matamala, R. (2007) Using landscape and depth gradients to decouple the impact of correlated environmental variables on soil microbial community composition. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 505-516.
- Arhonditsis, G. B., Stow, C. A., Steinberg, L. J., Kenney, M. A., Lathrop, R. C., McBride, S. J., Reckhow, K. H. (2006) Exploring ecological patterns with structural equation modeling and Bayesian analysis. *Ecological Modelling*, 192, 385–409.
- Barto, E. K., Alt, F., Oelmann, Y., Wilcke, W., Rilling, M. (2010) Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. *Soil Biology & Biochemistry*, 42, 2316-2324.
- Bollen, K. A. (1989) *Structural equations with latent variables*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bollen, K. A., Noble, M. D. (2011) Structural equation models and the quantification of behavior. *PNAS*, New York, vol. 108, 15639-15646.
- Byrne, B. M. (1994) *Structural equation modeling with EQS and EQS/windows: basic concepts, applications and programming*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Byrne, B. M. (2009) *Structural equation modeling with AMOS: basic concepts, applications and programming*, 2ª edição. Routledge, 2009.

- Costa, M. G., Gama-Rodrigues, A.C., Gonçalves, J. L. M., Gama-Rodrigues, E. F., Sales, M. V. S., Aleixo, S. (2016) Labile and Non-Labile Fractions of Phosphorus and Its Transformations in Soil under Eucalyptus Plantations, Brazil. *Forests*, 7, 15; doi:10.3390/f7010015. www.mdpi.com/journal/forests, acesso em 14/03/16.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., González-Megías, A. (2009) Different structuring factors but connected dynamics shape litter and belowground soil macrofaunal food webs. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:2543–2550.
- Duncan, O. D. (1971) *Causal models in the social sciences*. In: BLALOCK JR, *Path analysis: sociological examples*. H.M. (Org). Chicago: Aldine Publishing Company, p. 115-138.
- Eisenhauer, N., Reich, P. B., Isbell, F. (2012) Decomposer diversity and identity influence plant diversity effects on ecosystem functioning. *Ecology*, 93(10), p. 2227-2240.
- Fornell, C., Larcker, D. F. (1981) Evaluating Structural Equation with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing Research*, vol.18, nº 1, 1981, 39-50.
- Gama-Rodrigues, A. C., Sales, M. V. S., Silva, P. S. D., Comerford, N. B., Cropper, W. P., Gama-Rodrigues, E. F. (2014) An exploratory analysis of phosphorus transformations in tropical soils using structural equation modeling. *Biogeochemistry*, 118; 453-469.
- Grace, J. B. (2006) *Structural equation modeling and natural systems*. Cambridge University Press, New York.
- Grace, J. B., Anderson, T. M., Olf, H., Scheiner, S. M. (2010) On the specification of structural equation models for ecological systems. *Ecological monographs*, 80(1), 67-87.
- Grace, J. B., Bollen, K. A. (2006) The interface Between theory and data in structural equation models. *U. S. Geological Survey Open-Fire Report*, 2006-1363, 33p.

- Grace, J. B., Bollen, K. A. (2008) Representing general theoretical concepts in structural equation models: the role of composite variables. *Environ Ecol. Strat.*, 15:191-213.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, E., Tatham, R. L. (2009) *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman, 6<sup>a</sup> ed.
- Hines, W. W., Montgomery, D. C., Goldsman, D. M., Borrer, C. M. (2012) *Probabilidade e Estatística na Engenharia*. Tradução Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica de Ana Maria Lima de Farias. Rio de Janeiro: LTC.
- Hoyle, R. H. (2012) *Handbook of Structural Equation Modeling*. The Guilford Press.
- Hox, J. J., Bechger, T. M. (1998) An Introduction to structural equation modeling. *Family Science Review*, Minneapolis, v. 11, p. 354-373.
- Iacobucci, D. (2009) Everything you always wanted to know about SEM (structural equation modeling) but were afraid to ask. *Journal of Consumer Psychology*, 19, 673-680.
- Iacobucci, D. (2009) Structural equation modeling: Fit indices, sample size, and advanced topics. *Journal of Consumer Psychology*, 20, 90-98.
- Jing, X., Sanders, N. J., Shi, Y., Chu, H., Classen, A. T., Zhao, K., Chen, L., Shi, Y., Jiang, Y., He, J. S. (2015) The links between ecosystem multifunctionality and above- and belowground biodiversity are mediated by climate. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms9159, [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications), acesso em 11/02/2016.
- Kaplan, D. (2000) *Structural equation modeling: foundations and extensions*. Thousand Oaks: Sage Publications,.
- Klem, L. (2006) Reading and understanding more multivariate statistics. In: Grimm, L.G.; Yarnold, P.R. (Eds.). *Structural equation modeling*. Washington, D.C.: Copyright Holder: American Psychological Association.
- Kline, R. B. (1998) *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.

- Manhães, C. M. C., Gama-Rodrigues, E. F., Moço, M. K. S., Gama-Rodrigues, A. C. (2009) Biomassa de Fauna do Solo e da Serapilheira em Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. de Agroecologia*, Vol. 4 No. 2.
- Moço, M. K. S., Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Correia, M. E. F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 555-564.
- Moço, M. K. S., Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Machado, R. C. R., Baligar, V. C. (2009) Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 76: 127–138.
- Moço, M. K. S., Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A.C., Machado, R. C. R., Baligar, V. C. (2010) Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under diferente cacao agroforestry systems in the South of Bahia, Brazil. *Applied Soil Ecology*, 46, 347-354.
- Mulaik, S. A. (2009) *Linear causal modeling with structural equations*. CRC Press.
- Noordwijk, M., Cadisch, G., Ong, C. K. (2004) *Below-ground Interactions in Tropical Agroecosystems Concepts and Models with Multiple Plant Components*. CABI Publishing is a division of CAB International.
- Pugesek, B. H., Tomer, A., Avon, E. (2003) *Structural equation modeling*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sales, M. V. S., Gama-Rodrigues, A. C., Comerford, N. B., Cropper, W. P., Gama-Rodrigues, E. F., Oliveira P. H. G. (2015) Respecification of structural equation models for the P cycle in tropical soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 102, 1-16.
- Schumacker, R. E., Lomax, R. G. (2004) *A begginer's guide to structural equation modeling*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Silva, R. F., Mercante, F. M., Aquino, A. M. (2002) *Macrofauna do Solo Associada ao Sistema Plantio Direto*. Dourados: Coleção Sistema Plantio Direto / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0448; 6.

- Socarrás, A. V. (1998) *La vida del suelo: un indicador de su fertilidad. Agricultura Orgánica*, La Habana, v. 4.
- Thompson, B. (2006) Ten commandments of structural equation modeling. In Grimm, L.G. & Yarnold, P.R. (Eds.), *Reading and understanding more multivariate statistics* (pp. 261-284). Washington: American Psychological Association.
- Ullman, J. B. (2006) Structural equation modeling. In Tabachnick, B.G.& Fidell, L.S. (Eds.), *Using multivariate statistics* (pp. 653-771). Boston: Ally & Bacon.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – ANÁLISE DE MULTICOLINEARIDADE

Foi utilizado o software GENES versão 2006.4.1 para simulação com todas as variáveis do solo e da serapilheira. Analisou-se em separado as variáveis do solo e da serapilheira.

Para avaliar multicolinearidade

Classificação de

Montgomery e Peck (1981)

Número de condição (NC)	Multicolinearidade
NC < 100	Fraca (Não constitui problema sério)
100 < NC < 1000	Moderada a forte
NC > 1000	Severa

### **Para o banco da serapilheira foram analisadas 14 variáveis.**

Avaliando as 14 variáveis, resulta em uma colinearidade severa, ficando indicado para retirar a variável x1 = densidade total da serapilheira, retirando e refazendo a análise, ainda indicou uma colinearidade severa. Em nova análise, ficou indicado para retirar a variável x3 = micrógagos da serapilheira, retirando

ainda indicou uma colinearidade severa. Em seguida ficou indicado para retirar a variável  $x_4$  = insetos sociais da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{10}$  = carbono da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{11}$  = lignina da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{12}$  = celulose da serapilheira, retirando voltou a indicar uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável  $x_5$  = saprófitos da serapilheira, retirando voltou a indicar uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_7$  = onívoros da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_6$  = predadores da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_8$  = herbívoros da serapilheira, retirando indicou uma colinearidade FRACA.

Restaram então apenas as variáveis  $x_2$  = riqueza da serapilheira,  $x_9$  = nitrogênio da serapilheira,  $x_{13}$  = polifenol da serapilheira e  $x_{14}$  = fósforo da serapilheira.

Análise com 8 variáveis, sendo a densidade total, riqueza e grupos de fauna da serapilheira.

Avaliando as 8 variáveis, resulta em uma colinearidade moderada a forte. Foi indicado para retirar a variável  $x_1$  = densidade total da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Fazendo nova análise ficou indicado para retirar a variável  $x_4$  = insetos sociais da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Agora ficou indicado para retirar a variável  $x_5$  = saprófitos da serapilheira, retirando indicou uma colinearidade FRACA.

Restaram então apenas as variáveis  $x_2$  = riqueza da serapilheira,  $x_3$  = micrófagos da serapilheira,  $x_6$  = predadores da serapilheira,  $x_7$  = onívoros da serapilheira e  $x_8$  = herbívoros da serapilheira. Com na análise de multicolinearidade descartou-se por completo dos modelos a densidade total, pois tal variável apresenta alta colinearidade com as demais.

A seguir está a análise para 6 variáveis da qualidade da serapilheira.

Avaliando as 6 variáveis, resulta em uma colinearidade Severa. Ficou indicado para retirar a variável x10 = carbono da serapilheira, retirando ainda indicou uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável x11 = lignina da serapilheira, retirando passou a indicar uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x12 = celulose da serapilheira, retirando indicou uma colinearidade FRACA.

Restaram apenas as variáveis x9 = nitrogênio da serapilheira, x13 = polifenol da serapilheira e x14 = fósforo da serapilheira.

### **Para o banco do solo foram analisadas 15 variáveis**

Avaliando as 15 variáveis, resulta em uma colinearidade Severa. com isso, em nova análise ficou indicado para retirar a variável x1 = densidade total do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade severa. Em seguida ficou indicado para retirar a variável x4 = insetos sociais do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x5 = saprófitos do solo, retirando voltou a indicar uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável x15 = soma de bases do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável x3 = micrófagos do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x7 = predadores do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x6 = onívoros do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x13 = argila do solo, retirando voltou a indicar uma colinearidade severa. Ficou indicado para retirar a variável x9 = pH do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável x11 = carbono do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade FRACA.

No fim restaram apenas as variáveis  $x_2$  = riqueza do solo,  $x_8$  = herbívoros do solo,  $x_{10}$  = densidade aparente,  $x_{12}$  = nitrogênio do solo e  $x_{14}$  = fósforo do solo.

A seguir está a análise com 8 variáveis, sendo elas densidade total, riqueza e fauna do solo.

Avaliando as 8 variáveis, resulta em uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_1$  = densidade total do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_4$  = insetos sociais do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade FRACA.

Restaram então apenas as variáveis  $x_2$  = riqueza do solo,  $x_3$  = micrófagos do solo,  $x_5$  = saprófitos do solo,  $x_6$  = predadores do solo,  $x_7$  = onívoros do solo e  $x_8$  = herbívoros do solo. Na análise das variáveis do solo, a densidade total também foi totalmente descartada dos modelos por apresentar multicolinearidade severa com outras variáveis.

Por fim, apresenta-se a análise das 7 variáveis da propriedade do solo. E avaliando as 7 variáveis, resulta em uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{15}$  = soma de bases do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{11}$  = carbono do solo, retirando ainda indicou uma colinearidade moderada a forte. Ficou indicado para retirar a variável  $x_{13}$  = argila do solo, retirando passou a indicar uma colinearidade FRACA.

Restaram então apenas as variáveis  $x_9$  = pH do solo,  $x_{10}$  = densidade aparente,  $x_{12}$  = nitrogênio do solo e  $x_{14}$  = fósforo do solo.

## APÊNDICE B – ANÁLISE DE TRILHA

A seguir têm as análises de trilha usando a qualidade do solo-serapilheira e a fauna do solo-serapilheira. Simulação destas análises de trilha foram no software SAEG versão 9.1, sendo todas as estimativas usando máxima verossimilhança.

Valores em negrito nas tabelas são os valores significativos à 5%.

Tabela 1B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predador da serapilheira e independente: Demais grupos de fauna da serapilheira).

<b>Predadores da serapilheira</b>							
	<b>MIC</b>	<b>INS</b>	<b>SAP</b>	<b>ONV</b>	<b>HER</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>MIC</b>	-0,0009	-0,0028	0,193	0,777	-0,0068	0,3711	0,79303
<b>INS</b>	0,0001	0,1283	0,0821	0,0672	-0,0313		
<b>SAP</b>	-0,0004	0,0221	0,4766	0,0685	-0,0257		
<b>ONV</b>	-0,0003	0,0387	0,1467	0,2225	-0,032		
<b>HER</b>	-0,0001	0,027	0,0822	0,0493	-0,1487		

Nesta trilha nada foi significativo, por isso sem modelo para esta análise.

Tabela 2B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predador do solo e independente: Demais grupos de fauna do solo).

Predador solo							
	MIC	INS	SAP	ONV	HER	R <sup>2</sup>	U
MIC	0,3718	-0,0371	-0,0504	-0,0225	0,0449	0,3061	0,83301
INS	0,0812	-0,1696	-0,0647	0,1077	-0,1098		
SAP	-0,0613	0,036	0,3051	0,1469	-0,1457		
ONV	-0,0186	-0,0407	0,0999	0,4487	-0,2223		
HER	0,0452	-0,0505	0,1206	0,2706	-0,3686		

Nesta trilha nada foi significativo, por isso sem modelo para esta análise.

Tabela 3B: Coeficientes de Trilha (dependente: Micrófagos da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

Micrófagos serapilheira								
	N	C	LIG	CEL	POL	P	R <sup>2</sup>	U
N	-0,1508	-0,0004	-0,6955	-0,0239	0,0356	<b>0,8287</b>	0,4399	0,7484
C	0,0132	0,0052	0,6935	0,0199	-0,0085	-0,4664		
LIG	0,0981	0,0034	<b>1,0688</b>	0,0312	-0,0317	<b>-0,9465</b>		
CEL	0,0858	0,0024	<b>0,7929</b>	0,0421	-0,0292	-0,6068		
POL	0,1283	0,0011	<b>0,8083</b>	0,0294	-0,0419	<b>-0,9999</b>		
P	-0,1093	-0,0021	<b>-0,8851</b>	-0,0224	0,0366	<b>1,143</b>		

Tabela 4B: Coeficientes de Trilha (dependente: Micrófagos do solo e independente: Qualidade do solo).

Micrófagos solo									
	pH	DAP	C	N	ARG	P	SB	R <sup>2</sup>	U
pH	-0,2793	0,0014	-0,279	-0,071	0,8676	0,005	0,031	0,1209	0,9376
DAP	-0,0207	0,0207	0,0016	-0,0508	0,1634	0,0054	-0,0002		
C	0,2023	0,0001	0,3852	0,0046	-0,7379	0,0077	-0,024		
N	0,1566	-0,0081	0,0142	0,1266	-0,4757	-0,0183	-0,0131		
ARG	0,2672	-0,0036	0,3134	0,0664	-0,9069	-0,0065	-0,0279		
P	-0,1952	-0,0001	-0,2085	-0,0373	0,572	0,0473	0,0004		
SB	-0,1952	-0,0001	-0,2086	-0,0374	0,572	0,0004	0,0443		

Nesta trilha nada foi significativo, por isso sem modelo para esta análise.

Tabela 5B: Coeficientes de Trilha (dependente: Riqueza da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

Riqueza serapilheira								
	N	C	LIG	CEL	POL	P	R <sup>2</sup>	U
N	0,2884	0,0223	<b>-0,8</b>	0,1222	0,3345	-0,0069	0,3584	0,801
C	-0,0253	-0,2541	<b>0,8</b>	-0,1017	-0,0802	0,0039		
LIG	-0,1876	-0,1649	<b>1,2251</b>	-0,1593	-0,2972	0,0078		
CEL	-0,1641	-0,1203	<b>0,9089</b>	-0,2147	-0,2747	0,005		
POL	-0,2455	-0,0519	<b>0,9265</b>	-0,1501	-0,3929	0,0083		
P	0,2091	0,1037	<b>-1,0146</b>	0,114	0,3438	-0,0095		

Tabela 6B: Coeficientes de Trilha (dependente: Riqueza do solo e independente: Qualidade do solo).

Riqueza Solo									
	pH	DAP	C	N	ARG	P	SB	R <sup>2</sup>	U
pH	0,0029	-0,0237	0,7849	0,3645	<b>-1,3604</b>	0,0095	0,0838	0,2611	0,85959
DAP	0,0002	-0,3193	-0,0044	0,2608	-0,2562	0,0102	-0,0005		
C	-0,0021	-0,0013	<b>-1,0838</b>	-0,024	<b>1,157</b>	0,0146	-0,065		
N	-0,0016	0,1281	-0,04	-0,65	0,7459	-0,0347	-0,0354		
ARG	-0,0028	0,0575	<b>-0,8818</b>	-0,3409	<b>1,422</b>	-0,0123	-0,0757		
P	0,0003	-0,0365	-0,1766	0,2518	-0,1955	0,0895	0,001		
SB	0,002	0,0015	0,5867	0,1918	<b>-0,897</b>	0,0008	0,12		

Tabela 7B: Coeficientes de Trilha (dependente: Insetos sociais da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

Insetos Sociais serapilheira								
	N	C	LIG	CEL	POL	P	R <sup>2</sup>	U
N	-0,003	0,0406	0,054	-0,0768	0,0567	-0,3215	0,2079	0,89
C	0,0003	-0,463	-0,0539	0,064	-0,0136	0,181		
LIG	0,002	-0,3004	-0,083	0,1002	-0,0504	0,3673		
CEL	0,0017	-0,2193	-0,0616	0,1351	-0,0465	0,2354		
POL	0,0026	-0,0946	-0,0628	0,0944	-0,0666	0,388		
P	-0,0022	0,1889	0,0688	-0,0717	0,0583	-0,4435		

Nesta trilha nada foi significativo, por isso sem modelo para esta análise.

Tabela 8B: Coeficientes de Trilha (dependente: Insetos sociais do solo e independente: Qualidade do solo).

<b>Insetos sociais solo</b>									
	<b>pH</b>	<b>DAP</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>ARG</b>	<b>P</b>	<b>SB</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>pH</b>	<b>-1,2411</b>	0,0345	0,1677	-0,1053	<b>0,9023</b>	0,0113	-0,0228	0,5216	0,69166
<b>DAP</b>	-0,0921	0,4654	-0,0009	-0,0754	0,1699	0,0121	0,0001		
<b>C</b>	<b>0,8989</b>	0,0019	-0,2316	0,0069	<b>-0,7675</b>	0,0172	0,0177		
<b>N</b>	<b>0,6959</b>	-0,1867	-0,0085	0,1879	-0,4947	-0,041	0,0096		
<b>ARG</b>	<b>1,1873</b>	-0,0838	-0,1884	0,0985	<b>-0,9432</b>	-0,0145	0,0206		
<b>P</b>	-0,132	0,0532	-0,0377	-0,0728	0,121	0,1059	-0,0003		
<b>SB</b>	<b>-0,8673</b>	-0,0021	0,1254	-0,0554	0,5949	0,0009	-0,0326		

Tabela 9B: Coeficientes de Trilha (dependente: Saprófitos da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

<b>Saprófitos serapilheira</b>									
	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>LIG</b>	<b>CEL</b>	<b>POL</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>	
<b>N</b>	-0,0419	0,0523	<b>-0,78</b>	-0,1603	<b>1,0585</b>	-0,2417	0,383	0,78549	
<b>C</b>	0,0037	-0,5959	<b>0,78</b>	0,1335	-0,254	0,1361			
<b>LIG</b>	0,0272	-0,3867	<b>1,1971</b>	0,209	<b>-0,9403</b>	0,2762			
<b>CEL</b>	0,0238	-0,2823	<b>0,8881</b>	0,2817	<b>-0,8691</b>	0,177			
<b>POL</b>	0,0356	-0,1217	<b>0,9053</b>	0,1969	<b>-1,2434</b>	0,2917			
<b>P</b>	-0,0303	0,2432	<b>-0,9914</b>	-0,1496	<b>1,0878</b>	-0,3335			

Tabela 10B: Coeficientes de Trilha (dependente: Saprófitos do solo e independente: Qualidade do solo).

<b>Saprófitos solo</b>									
	<b>PH</b>	<b>DAP</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>ARG</b>	<b>P</b>	<b>SB</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>pH</b>	<b>1,5008</b>	-0,0045	0,6278	0,3392	<b>-2,275</b>	0,0015	-0,4857	0,4942	0,7112
<b>DAP</b>	0,1114	-0,0608	-0,0035	0,2427	-0,4285	0,0017	0,0032		
<b>C</b>	<b>-1,087</b>	-0,0002	<b>-0,8668</b>	-0,0223	<b>1,935</b>	0,0024	0,3763		
<b>N</b>	<b>-0,8416</b>	0,0244	-0,032	-0,6049	<b>1,2473</b>	-0,0057	0,2051		
<b>ARG</b>	<b>-1,4358</b>	0,011	<b>-0,7053</b>	-3173	<b>2,3781</b>	-0,002	0,4384		
<b>P</b>	0,1597	-0,0069	-0,1413	0,2343	-0,3269	0,0146	-0,0061		
<b>SB</b>	<b>1,0489</b>	0,0003	0,4693	0,1785	<b>-1,5</b>	0,0001	<b>-0,7</b>		

Tabela 11B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predadores da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

<b>Predadores serapilheira</b>								
	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>LIG</b>	<b>CEL</b>	<b>POL</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>N</b>	0,3662	0,1268	<b>-0,8453</b>	0,4849	-0,1638	0,1314	0,4625	0,73314
<b>C</b>	-0,0321	-0,1444	<b>0,8429</b>	-0,4037	0,0393	-0,074		
<b>LIG</b>	-0,2383	-0,0937	<b>1,299</b>	-0,6323	0,1455	-0,1501		
<b>CEL</b>	-0,2083	-0,0684	<b>0,9637</b>	<b>-0,8522</b>	0,1344	-0,0962		
<b>POL</b>	-0,3117	-0,029	<b>0,9824</b>	-0,5957	0,1924	-0,1586		
<b>P</b>	0,2655	0,0589	<b>-1,0758</b>	0,4524	-0,1683	0,1813		

Tabela 12B: Coeficientes de Trilha (dependente: Predadores do solo e independente: Qualidade do solo).

<b>Predadores solo</b>									
	<b>pH</b>	<b>DAP</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>ARG</b>	<b>P</b>	<b>SB</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>pH</b>	<b>1,6537</b>	-0,0059	-0,2597	-0,2311	<b>-1,299</b>	0,0078	-0,2006	0,4788	0,72194
<b>DAP</b>	0,1227	-0,0799	0,0015	-0,1654	-0,2447	0,0084	0,0013		
<b>C</b>	<b>-1,1976</b>	-0,0003	0,3585	0,0152	<b>1,1049</b>	0,012	0,1554		
<b>N</b>	<b>-0,9273</b>	0,032	0,0132	0,4122	0,07123	-0,0285	0,0847		
<b>ARG</b>	<b>-1,582</b>	0,0144	0,2917	0,2162	<b>1,3579</b>	-0,0101	0,1811		
<b>P</b>	0,1759	-0,0091	0,0584	-0,1597	-0,1867	0,0737	-0,0025		
<b>SB</b>	<b>1,1556</b>	0,0004	-0,1941	-0,1217	<b>-0,8565</b>	0,0006	-0,2871		

Tabela 13B: Coeficientes de Trilha (dependente: Onívoros da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

Onívoros serapilheira								
	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>LIG</b>	<b>CEL</b>	<b>POL</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>N</b>	-0,2912	-0,0294	-0,5135	0,6163	-0,5053	0,762	0,3358	0,81498
<b>C</b>	0,0256	0,335	0,5121	-0,5131	0,1212	0,4289		
<b>LIG</b>	0,1894	0,2173	0,7892	<b>-0,8036</b>	0,4489	<b>-0,8704</b>		
<b>CEL</b>	0,1657	0,1587	0,5855	<b>-1,0832</b>	0,4149	-0,558		
<b>POL</b>	0,2479	0,0684	0,5968	-0,7572	0,5936	<b>-0,9195</b>		
<b>P</b>	-0,2111	-0,1367	-0,6536	0,5751	-0,5193	<b>1,051</b>		

Tabela 14B: Coeficientes de Trilha (dependente: Onívoros do solo e independente: Qualidade do solo).

<b>Onívoros solo</b>									
	<b>PH</b>	<b>DAP</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>ARG</b>	<b>P</b>	<b>SB</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>pH</b>	<b>-1,4331</b>	-0,0149	0,1777	0,0751	<b>1,0263</b>	0,0008	-0,1879	0,3361	0,8148
<b>DAP</b>	-0,1063	-0,2011	-0,001	0,0538	0,1933	0,0009	0,0012		
<b>C</b>	<b>1,0379</b>	-0,0008	-0,2453	-0,0049	<b>-0,8729</b>	0,0013	0,1456		
<b>N</b>	<b>0,8036</b>	0,0807	-0,009	-0,134	-0,5627	-0,003	0,0794		
<b>ARG</b>	<b>1,371</b>	0,0362	-0,1996	-0,0703	<b>-1,0728</b>	-0,0011	0,1696		
<b>P</b>	-0,1525	-0,023	-0,04	0,519	0,1475	0,0078	-0,0023		
<b>SB</b>	<b>-1,0015</b>	0,0009	0,1328	0,0395	0,6767	0,0001	-0,2689		

Tabela 15B: Coeficientes de Trilha (dependente: Herbívoros da serapilheira e independente: Qualidade da serapilheira).

<b>Herbívoros serapilheira</b>								
	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>LIG</b>	<b>CEL</b>	<b>POL</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>N</b>	0,1421	-0,0043	0,2797	-0,0093	-0,4786	0,2798	0,1861	0,90216
<b>C</b>	-0,0125	0,4958	-0,2789	0,0077	0,1148	-0,1575		
<b>LIG</b>	-0,0924	0,0322	-0,4299	0,0121	0,4251	-0,3196		
<b>CEL</b>	-0,0808	0,0235	-0,3189	0,0163	0,3929	-0,2049		
<b>POL</b>	-0,1209	0,0101	-0,3251	0,0114	0,5622	-0,3376		
<b>P</b>	0,103	-0,0202	0,356	-0,0087	-0,4918	0,3859		

Nesta trilha nada foi significativo, por isso sem modelo para esta análise.

Tabela 16B: Coeficientes de Trilha (dependente: Herbívoros do solo e independente: Qualidade do solo).

<b>Herbívoros solo</b>									
	<b>PH</b>	<b>DAP</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>ARG</b>	<b>P</b>	<b>SB</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>U</b>
<b>pH</b>	<b>-1,5375</b>	-0,0319	0,5216	0,6274	0,5067	-0,0157	-0,1709	0,4824	0,71944
<b>DAP</b>	-0,1114	-0,4303	-0,0029	0,4489	0,0954	-0,0168	0,0011		
<b>C</b>	<b>1,1135</b>	-0,0017	<b>-0,7203</b>	-0,0413	-0,431	-0,0244	0,1324		
<b>N</b>	<b>0,8622</b>	0,1727	-0,0266	<b>-1,1189</b>	-0,2778	0,0571	0,0722		
<b>ARG</b>	<b>1,4709</b>	0,0775	-0,5861	-0,5869	-0,5296	0,0203	0,1543		
<b>P</b>	-0,1636	-0,0492	-0,1174	0,4334	0,0728	-0,1475	-0,0021		
<b>SB</b>	<b>-1,0745</b>	0,002	0,3899	0,3302	0,3341	-0,0013	-0,2446		