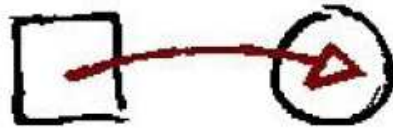


**Programa de Pós-Graduação em Educação:  
Conhecimento e Inclusão Social**



**Desenvolvimento da Aprendizagem  
sobre  
Estruturas de Concreto Armado**

**Elizabeth Vieira Maia**

**Belo Horizonte  
Faculdade de Educação da UFMG  
2010**

**Elizabeth Vieira Maia**

# **Desenvolvimento da Aprendizagem sobre Estruturas de Concreto Armado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Oto Néri Borges

**Belo Horizonte**  
**Faculdade de Educação da UFMG**  
**2010**

M217d  
T

Maia, Elizabeth Vieira, 1956  
Desenvolvimento da Aprendizagem sobre Estruturas de  
Concreto Armado / Elizabeth Vieira Maia. - UFMG/FaE, 2010.  
161 f., enc, il.

Tese - (Doutorado) - Universidade Federal de Minas  
Gerais, Faculdade de Educação.  
Orientador: Oto Néri Borges.  
Bibliografia: f. 124-129.  
Anexos: f. 130-161.

1. Educação -- Teses. 2. Engenharia -- Estudo e ensino. 3.  
Engenheiros Civis. 4. Ensino Superior. 5. Concreto armado.  
I. Título.

CDD- 620.00711

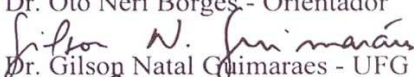
**Catálogo da Fonte : Biblioteca da FaE/UFMG**

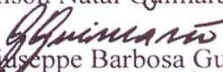
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: **Conhecimento e Inclusão Social**

ATA DA 235ª (DUCENTÉSIMA TRIGÉSIMA QUINTA) DEFESA DE TESE NO  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO:  
**Conhecimento e Inclusão Social**

Aos trinta dias do mês de agosto do ano de dois mil e dez realizou-se, na Faculdade de Educação da UFMG, uma reunião para apresentação e defesa da tese: “**Desenvolvimento da aprendizagem sobre estruturas de concreto armado**” da aluna **Elizabeth Vieira Maia**, requisito final para obtenção do Grau de Doutora em Educação. A banca examinadora foi composta seguintes professores doutores: Oto Neri Borges - Orientador, Gilson Natal Guimaraes, Giuseppe Barbosa Guimarães, Sebastiao Salvador Real Pereira e Luiz Alberto Oliveira Gonçalves . Os trabalhos iniciaram-se às 13:30h com a síntese da tese feita pela Doutoranda. Em seguida, os membros da banca fizeram uma arguição pública à candidata. Terminadas as arguições, a banca examinadora reuniu-se, sem a presença da candidata e do público, para fazer a avaliação final da defesa da tese apresentada. Em conclusão, a banca examinadora considerou a tese: *Aprovada, destacando o caráter inédito do estudo, que focaliza a aprendizagem no nível superior e engenharia, e a contribuição metodológica.* O resultado final foi comunicado à aluna **Elizabeth Vieira Maia** e ao público, concedendo à aluna o título de Doutor em Educação. A aluna deverá encaminhar à Secretaria do Programa a versão final em 05 (cinco) exemplares. Nada mais havendo a tratar eu, Rosemary da Silva Madeira, lavrei a presente ata que, depois de lida e aprovada, será por mim assinada e por seus membros. Belo Horizonte, 30 de agosto de 2010.


  
Prof. Dr. Oto Neri Borges - Orientador

  
Prof. Dr. Gilson Natal Guimaraes - UFG

  
Prof. Dr. Giuseppe Barbosa Guimarães - PUC-Rio

  
Prof. Dr. Sebastiao Salvador Real Pereira - UFMG

  
Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Gonçalves - UFMG

  
Rosemary da Silva Madeira  
Secretária do Programa de Pós-Graduação em Educação:  
Conhecimento e Inclusão Social – FaE/UFMG

**DEDICATÓRIA**

**Dedico esta tese**

**Aos meus pais**

**Raul e Maria**

**E**

**Ao meu esposo**

**José Márcio**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Oto Neri Borges, por acreditar nas minhas idéias, pela parceria e orientação e pela amizade construída.

Aos professores e aos estudantes que participaram da pesquisa, pela confiança e colaboração.

Aos colegas do Grupo de Orientação pela convivência prazerosa nas reuniões de quarta-feira.

Aos professores, colegas e funcionários da FaE, pelo aprendizado e apoio.

Aos amigos funcionários do DEEs pelo apoio incondicional.

Aos familiares e amigos pelo constante incentivo e pela carinhosa compreensão pelas minhas ausências.

Ao meu esposo José Márcio pela manifestação de amor e de amizade ao assumir todas as tarefas domésticas.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Gráficos.....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Quadros.....</b>	<b>12</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>13</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>14</b>
<b>1 – Introdução.....</b>	<b>15</b>
1.1 – Contexto da Pesquisa.....	15
1.2 – Objetivos da Pesquisa.....	16
1.3 – Estrutura do Documento.....	18
<b>2 – Referencial Teórico.....</b>	<b>20</b>
2.1 – Competências dos Engenheiros.....	20
2.2 – Tratamento Rasch.....	23
2.3 – Análise Fatorial.....	28
2.4 – Mudança Educacional: Análise Hierárquica em Estudos Longitudinais.....	29
<b>3 – O Cenário da Pesquisa.....</b>	<b>35</b>
3.1 – A Pesquisa em Educação em Engenharia.....	35
3.2 – O Ensino de Engenharia.....	37
3.3 – A Organização do Currículo da Escola de Engenharia.....	39
3.4 – O Engenheiro de Estruturas.....	43
3.5 – Os Sujeitos Participantes.....	46
<b>4 – Fontes de Dados.....</b>	<b>50</b>
4.1 – Provas.....	50
4.2 – Construção dos Preditores de Desenvolvimento.....	51

4.2.1 – Indicador de História de Engajamento.....	51
4.2.2 – Indicador de História de Aprovação.....	53
4.2.3 – Indicador de História do Rendimento Semestral Global.....	53
4.2.4 – Indicador de Frequência na Disciplina Estruturas de Concreto Armado II .....	54
4.2.5 – Indicador de Pressão para Aprovação.....	54
4.2.6 – Indicador da Faixa Etária Regular.....	54
4.2.7 – Indicador da História da Matéria Matemática.....	55
4.2.8 – Indicador da Faixa Sócio-Econômica.....	55
4.2.9 – Indicador do Ensino Médio.....	55
4.2.10 – Indicadores de Motivação.....	55
4.2.11 – Indicadores de Desempenho no Vestibular.....	56
4.2.12 – Preditor do Início dos Estudos da Matéria Estruturas.....	56
4.2.13 – Preditor da Forma de Ingresso no Curso.....	57
4.2.14 – Preditor do Semestre de Entrada no Curso.....	57
4.3 – Resumo dos Preditores.....	57
<b>5 – Resultados – Parte I.....</b>	<b>59</b>
5.1 – Introdução.....	59
5.2 – Como os alunos graduandos de Engenharia Civil aprendem as disciplinas da matéria Estruturas?.....	59
5.2.1 – A Escala da CGME.....	70
5.2.2 – A Evolução da CGME.....	78
5.2.3 – A Evolução do Rendimento Semestral Global.....	81
5.3 – Discussão dos Resultados.....	82
<b>6 – Resultados – Parte II.....</b>	<b>84</b>



6.1 – Introdução.....	84
6.2 – Como os alunos graduandos de Engenharia Civil interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas da matéria Estruturas?.....	84
6.2.1 – A Disciplina Estruturas de Concreto Armado II.....	85
6.2.2 – A Mensuração das Competências na Disciplina Estruturas de Concreto Armado II: O Instrumento de Medida.....	86
6.2.3 – A Construção de Conjuntos de Indicadores da Competência.....	89
6.2.4 – Identificação das competências envolvidas na disciplina Estruturas de Concreto Armado II.....	98
6.2.5 – Obtenção das Medidas Rasch por Domínio.....	100
6.2.6 – Procedimento de Equalização.....	102
6.2.7 – Escala Rasch da Competência em Estruturas de Concreto Armado II.....	104
6.2.8 – A Evolução da Competência em Estruturas de Concreto Armado II.....	107
6.2.8.1 – Preditores.....	107
6.2.8.2 – Domínio Estática.....	107
6.2.8.3 – Domínio Algoritmo.....	109
6.2.8.4 – Domínio Modelagem.....	112
6.2.8.5 – Competência em Estruturas de Concreto Armado II.....	114
6.2.9 – Discussão dos Resultados.....	117
<b>7. – Considerações Finais.....</b>	<b>120</b>
7.1 – Conclusões.....	120
7.2 – Implicações Educacionais.....	122
7.2.1 – Educação Básica.....	122
7.2.2 – Educação em Engenharia de Estruturas.....	122
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>130</b>
Anexo 1 – Grade Curricular – Matéria Estruturas.....	131

Anexo 2 – Provas.....	132
Anexo 3 – Padrão de Resposta.....	135
Anexo 4 – Indicadores.....	145
Anexo 5.1 – Frequência dos Conceitos.....	149
Anexo 5.2 – Sumário Estatístico das Frequências Observadas em cada categoria e em cada disciplina em 11 semestres consecutivos.....	153
Anexo 6 – Ementa e Programa.....	154
Anexo 7 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	160

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 2.1</b> – Curva Característica do Item.....	<b>26</b>
<b>Gráfico 2.2</b> – Curvas de probabilidades para o modelo Rasch politômico.....	<b>27</b>
<b>Gráfico 5.1 (a)</b> – Total de Alunos por Conceitos em cada disciplina em 11 semestres consecutivos.....	<b>61</b>
<b>Gráfico 5.1 (b)</b> – Desvio Padrão por Conceitos em cada disciplina em 11 semestres consecutivos.....	<b>62</b>
<b>Gráfico 5.1 (c)</b> – Número total de alunos por disciplina.....	<b>62</b>
<b>Gráfico 5.2</b> – Curva Característica do Item e suas Transições.....	<b>65</b>
<b>Gráfico 5.3 (a)</b> – CCI – Mecânica para Engenheiros.....	<b>68</b>
<b>Gráfico 5.3 (b)</b> – CCI – Análise Estrutural I.....	<b>68</b>
<b>Gráfico 5.3 (c)</b> – CCI – Resistência dos Materiais I.....	<b>69</b>
<b>Gráfico 5.3 (d)</b> – CCI – Análise Estrutural II.....	<b>69</b>
<b>Gráfico 5.3 (e)</b> – CCI – Resistência dos Materiais II.....	<b>69</b>
<b>Gráfico 5.3 (f)</b> – CCI – Estruturas de Aço I.....	<b>70</b>
<b>Gráfico 5.3 (g)</b> – CCI – Estruturas de Concreto Armado I.....	<b>70</b>
<b>Gráfico 5.4 (a)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Mecânica para Engenheiros.....	<b>71</b>
<b>Gráfico 5.4 (b)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Análise Estrutural I.....	<b>72</b>
<b>Gráfico 5.4 (c)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Resistência dos Materiais I.....	<b>72</b>
<b>Gráfico 5.4 (d)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Análise Estrutural II.....	<b>73</b>
<b>Gráfico 5.4 (e)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Resistência dos Materiais II.....	<b>73</b>
<b>Gráfico 5.4 (f)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Estruturas de Aço I.....	<b>74</b>
<b>Gráfico 5.4 (g)</b> – Curvas de Probabilidade das categorias para Estruturas de Concreto Armado I.....	<b>74</b>
<b>Gráfico 5.5</b> – Índice Médio de Reprovação nas Disciplinas.....	<b>77</b>

<b>Gráfico 5.6</b> – Dificuldade das Disciplinas da Matéria Estruturas.....	<b>77</b>
<b>Gráfico 5.7</b> – Evolução da Competência Geral na Matéria Estruturas (Média).....	<b>78</b>
<b>Gráfico 5.8</b> – Evolução da Competência Geral na Matéria Estruturas.....	<b>80</b>
<b>Gráfico 5.9</b> – Evolução do Rendimento Semestral Global.....	<b>82</b>
<b>Gráfico 6.1</b> – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Estática.....	<b>105</b>
<b>Gráfico 6.2</b> – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Modelagem.....	<b>105</b>
<b>Gráfico 6.3</b> – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Algoritmo.....	<b>106</b>
<b>Gráfico 6.4</b> – Ajuste dos itens pertencentes à escala da Competência em Concreto Armado II.....	<b>106</b>
<b>Gráfico 6.5</b> – Trajetórias da Competência em Estática.....	<b>109</b>
<b>Gráfico 6.6</b> – Trajetórias da Competência em Algoritmo (Gen = 0).....	<b>111</b>
<b>Gráfico 6.7</b> – Trajetórias da Competência em Algoritmo (Gen = 1).....	<b>111</b>
<b>Gráfico 6.8 (a)</b> – Trajetórias da Competência em Modelagem.....	<b>113</b>
<b>Gráfico 6.8 (b)</b> – Trajetórias da Competência em Modelagem.....	<b>114</b>
<b>Gráfico 6.9</b> – Trajetórias da Competência em Estruturas de Concreto Armado II (Gen = 1).....	<b>116</b>
<b>Gráfico 6.10</b> – Trajetórias da Competência em Estruturas de Concreto Armado II (Gen = 0).....	<b>116</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Integralização Curricular.....	<b>16</b>
<b>Tabela 3.1 (a)</b> – Núcleo de Conteúdos Básicos.....	<b>40</b>
<b>Tabela 3.1 (b)</b> – Núcleo de Conteúdos Profissionalizantes.....	<b>41</b>
<b>Tabela 3.2</b> – Disciplinas da Matéria Estrutura.....	<b>42</b>
<b>Tabela 3.3</b> – Características dos Alunos.....	<b>47</b>
<b>Tabela 3.4</b> – Parâmetros da Vida Acadêmica.....	<b>47</b>
<b>Tabela 3.5</b> – Correspondências entre conceitos e categorias.....	<b>48</b>
<b>Tabela 4.1</b> – Métrica das provas e número de alunos presentes.....	<b>50</b>
<b>Tabela 4.2</b> – Correspondências entre conceito, nota e categorias.....	<b>52</b>
<b>Tabela 4.3</b> – Correspondência entre conceito e categorias.....	<b>53</b>
<b>Tabela 4.4</b> – Preditores.....	<b>58</b>
<b>Tabela 5.1</b> – Correspondências entre conceito, nota e categorias.....	<b>61</b>
<b>Tabela 5.2</b> – Estatística F de ajuste do modelo linear aos dados.....	<b>63</b>
<b>Tabela 5.3</b> – Formato dos dados para a construção da CGME.....	<b>66</b>
<b>Tabela 5.4</b> – Estatísticas globais de ajuste da Escalas Rasch para CGME.....	<b>67</b>
<b>Tabela 5.5</b> – Transições entre as categorias de conceitos.....	<b>71</b>
<b>Tabela 5.6</b> – Média da Competência Geral por Disciplina.....	<b>74</b>
<b>Tabela 5.7</b> – Probabilidade de atingir uma categoria de conceito com a CGME média.....	<b>75</b>
<b>Tabela 5.8</b> – Dificuldades das Disciplinas.....	<b>75</b>
<b>Tabela 5.9</b> – Tempo médio de integralização das disciplinas e a CGME média....	<b>78</b>
<b>Tabela 5.10</b> – Preditores para a trajetória da CGME.....	<b>79</b>
<b>Tabela 6.1</b> – Número de Indicadores das Questões das Provas.....	<b>94</b>

<b>Tabela 6.2</b> – Resultado do re-exame de parte da solução da questão à luz dos Indicadores.....	<b>97</b>
<b>Tabela 6.3</b> – Escore máximo por questão por prova.....	<b>98</b>
<b>Tabela 6.4</b> – Estatísticas de ajuste da AFE para as 3 provas.....	<b>99</b>
<b>Tabela 6.5</b> – Distribuição dos Indicadores pelos Domínios de Competência.....	<b>100</b>
<b>Tabela 6.6</b> – Descrição Geral dos Sujeitos, Itens e Escores de cada competência.	<b>102</b>
<b>Tabela 6.7</b> – Número de itens por domínio após agrupamento por similaridade....	<b>104</b>
<b>Tabela 6.8</b> – Número de itens por domínio após equalização.....	<b>107</b>
<b>Tabela 6.9</b> – Preditores para a trajetória das competências na Disciplina de Estruturas de Concreto Armado II.....	<b>108</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> – Trajetórias dos conceitos dos trabalhos práticos.....	<b>52</b>
<b>Figura 5.1</b> – Mapa de Distribuição dos Itens (LINACRE, 2009).....	<b>76</b>
<b>Figura 6.1</b> – Processo Global do Projeto Estrutural.....	<b>89</b>
<b>Figura 6.2</b> – Croquis da Primeira Questão da Primeira Prova.....	<b>91</b>
<b>Figura 6.3</b> – Padrão de Resposta da Primeira Questão da Primeira Prova.....	<b>92</b>
<b>Figura 6.4</b> – Solução apresentada por um estudante para o exemplo em questão..	<b>95</b>
<b>Figura 6.5</b> – Formato da matriz de dados a ser equalizada pelo Teste de Equalização Virtual.....	<b>103</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – As 14 competências do profissional de Engenharia Civil.....	<b>21</b>
<b>Quadro 4.1</b> – Motivo principal da escolha do curso: questionário sócio – econômico.....	<b>56</b>
<b>Quadro 6.1</b> – Conteúdo programático da disciplina Estruturas de Concreto Armado II.....	<b>86</b>



## RESUMO

Os currículos em vigência nas universidades brasileiras são baseados na definição do perfil desejado do formando e nas competências que devem ser desenvolvidas durante os cursos. Como estamos interessados em estudar o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes de Engenharia Civil no que concerne às disciplinas que constituem a matéria Estruturas, escolhemos descrevê-lo através da evolução das competências nestas disciplinas.

O desenvolvimento da aprendizagem pode ser descrito através de estimativas de mudança educacional obtidas através de modelos estatísticos apropriados, como é o modelo de crescimento linear individual.

Mas para isto é necessário a construção de métricas para mensurar o construto competência. A família de modelos Rasch foi aplicada para a obtenção de “réguas” para medir as competências a partir de respostas de testes acadêmicos.

As medidas das competências foram ajustadas a modelos hierárquicos lineares permitindo assim descrever o desenvolvimento das competências gerais e específicas dos alunos graduandos em Engenharia Civil sobre as disciplinas da matéria Estruturas.

O principal resultado foi a evolução positiva do construto Competência Geral na Matéria Estruturas. Os resultados encontrados para as competências específicas na disciplina de Concreto Armado II mostraram tendências com dinâmicas diferentes, tanto quantitativamente quanto qualitativamente. As trajetórias mostram tendências positivas e negativas.

As trajetórias descendentes podem não indicar necessariamente um resultado negativo. Elas podem estar representando tendências anteriores à construção de uma nova competência.

## ABSTRACT

The curricula in Brazilian universities are based on the desired profile of the student and the competences to be developed during the course. Since we are interested in understanding the development of engineering students in structural engineering courses, we chose to describe it through the development of competences in these courses.

The development of learning can be described by estimates of educational change obtained through appropriate statistical models, as the linear individual growth model.

But this fact requires the construction of metrics to measure the construct of competence. The family of Rasch models was applied to obtain "rulers" to measure competences from the responses of academic tests.

Measures of competence were fitted to hierarchical linear models describing the development of general and domain-specific competences of Civil Engineering undergraduate students in structural engineering subjects.

The main result was the positive development of the general-domain competence in structural engineering subjects. The results for the specific-domain competence in the discipline of Reinforced Concrete Structures II showed trends with different dynamics, both quantitatively and qualitatively. The trajectories show both positive and negative trends.

The decreased trajectories may not necessarily indicate a negative result. They may represent trends prior to the construction of a new competence.

## 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 – Contexto da pesquisa

Há algum tempo, a aquisição de competências tem-se tornado um assunto principal para a educação superior. Universidades e governos de vários países têm se preocupado em delinear as competências necessárias para a formação de engenheiros capazes de exercer a profissão eficientemente ao longo da sua vida (MÓNICA *et al.*, 2009, WESTERA, 2001, SHUMAN *et al.*, 2005).

No Brasil, em 1998, as Comissões de Curso do Exame Nacional de Cursos (ENC), propuseram novas diretrizes curriculares que viriam a substituir os até então vigentes currículos mínimos e duração dos cursos de graduação em Engenharia estabelecidos pela Resolução Nº 48, de 27 de Abril de 1976 (Diretrizes Curriculares: Propostas das Comissões Nacionais do Exame Nacional de Cursos, 1988).

Destas diretrizes emergiram como elementos básicos para a definição do perfil desejado do formando as competências ou habilidades que devem ser desenvolvidas durante o curso. O processo de desenvolvimento das competências ou habilidades deveriam ter como objeto de trabalho as matérias do curso. Matérias estas classificadas como:

- matérias de formação básica.
- matérias de formação geral.
- matérias de formação profissional.
- matérias de formação específica.

Segundo a proposta, a ordenação das matérias apresentadas acima não representava uma seqüência imposta na estruturação do currículo, o qual poderia admitir interpenetração das mesmas que deveriam ser ministradas através de disciplinas constituídas de:

- todos os assuntos de uma ou mais matérias
- parte dos assuntos de uma ou mais matérias.

A versão curricular vigente na IES em que este estudo coletou dados empíricos para tratar as questões de pesquisa é datado de 2003. O Anexo 1 esquematiza a grade curricular das disciplinas que constituem a matéria Estruturas. E a Tabela 1 resume as características da integralização curricular.

Tabela 1.1 – Características da Integralização Curricular.

<b>TEMPO PREVISTO SEMESTRES</b>		
<b>MINÍMO</b>		<b>8</b>
<b>PADRÃO</b>		<b>10</b>
<b>MÁXIMO</b>		<b>17</b>
<b>MÍNIMO DE CRÉDITOS POR SEMESTRE</b>		
<b>15</b>		
<b>DISCIPLINAS</b>	<b>CARGA HORÁRIA</b>	<b>CRÉDITOS</b>
<b>CURRÍCULO MÍNIMO</b>	<b>2535</b>	<b>169</b>
<b>OBRIGATÓRIAS</b>	<b>750</b>	<b>50</b>
<b>OPTATIVAS</b>	<b>180</b>	<b>12</b>
<b>OPTATIVAS COMPLEMENTARES</b>	<b>120</b>	<b>8</b>
<b>OPTATIVAS DIRECIONADAS</b>	<b>45</b>	<b>3</b>
<b>ELETIVAS</b>	<b>–</b>	<b>–</b>
<b>ESTÁGIO CURRICULAR</b>	<b>120</b>	<b>8</b>

## 1.2 – Objetivos da pesquisa

O desenvolvimento de pesquisas educacionais cujo foco é o aluno tem se mostrado como uma tendência marcante em iniciativas para a melhoria do ensino e aprendizagem (ZVOCH & STEVENS, 2005). Dentre vários temas da área, relatos sobre o entendimento dos estudantes sobre um ou mais conteúdos e como ele evolui são cada vez mais freqüentes (NEWCOMER & STEIF, 2007).

Pesquisas americanas em ensino de graduação em ciências, tecnologia, engenharia e matemática documentadas nos relatórios do The National Academies – National Research Council & National Academy of Engineering (NRC, NAE, 2005) concordam de que os estudos deveriam focar menos no que os professores ensinam [conteúdos disciplinares]. Sugerem que o foco principal dos estudos deveria ser os alunos. Como eles aprendem e como eles aplicam o conhecimento adquirido em situações novas fora da sala de aula (De HAAN, 2005).

Uma iniciativa de sucesso da comunidade dos professores americanos de Física é investigar o nível de entendimento inicial e final dos alunos sobre conceitos básicos. Este estudo foi liderado por HESTENES *et al.*(1992), criadores do Force Concept Inventory (pré-teste: diagnóstico e pós-teste: avaliação do ensino e aprendizagem). Recentemente esta abordagem foi adotada por várias escolas de engenharia americanas e estão sendo projetados “concept inventories” em vários assuntos da área das engenharias (RICHARDSON *et al.*, 2001).

Neste estudo, o objetivo geral foi estudar temas ligados ao desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes de engenharia e gerar sugestões do ponto de vista educacional que possam inspirar caminhos e possibilidades de promover o entendimento dos alunos sobre os conteúdos ensinados.

O objetivo específico foi descrever como os alunos aprendem a matéria estruturas e como eles interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas.

O desenvolvimento da aprendizagem pode ser descrito através de estimativas de mudança educacional obtidas através de modelos estatísticos apropriados, como é o modelo de crescimento linear individual. Para o estudo ser de qualidade, como estabelece ROGOSA *et al.* (1982), não basta modelar a mudança individual – um estado inicial, uma taxa de desenvolvimento que varia com o tempo e um erro. É desejável saber se existem correlatos ou preditores que possam ser responsáveis por estas diferenças – fatores que possam explicar parte da variância não explicada pelas medidas obtidas nas provas.

Seguindo esta linha de argumentação, cogita-se em selecionar aspectos da vida acadêmica, passada e atual, como possíveis indicadores correlatos do desenvolvimento das competências envolvidas nas Disciplinas da Matéria Estruturas.

Alguns aspectos estão descritos nos perfis pessoais e acadêmicos dos sujeitos desta pesquisa. Outro possível correlato cogitado é o engajamento escolar. Uma das maneiras de medi-lo é através de um indicador do envolvimento do estudante com os trabalhos escolares (FREDRICKS *et al.*, 2004).

Como salienta FISCHER & BIDELELL (2006) os estudos sobre desenvolvimento são “*in medias res*”, ou seja, “no meio das coisas”. O desenvolvimento de cada pessoa é diretamente influenciado pelas atividades que ela realiza e pelo contexto social no qual ela está inserida. Estes autores destacam ainda que a variabilidade é a norma e não a exceção em se tratando do comportamento humano, no qual se insere desenvolvimento e mudança educacional.

O desenho da pesquisa para o estudo do desenvolvimento necessita ser amplo para capturar a variabilidade e a diversidade das atividades humanas. O desenho da pesquisa deve prever múltiplas e bem espaçadas ondas de medidas de forma a capturar as mudanças ou variações e propor atividades sensíveis à variabilidade dos caminhos percorridos pelas pessoas (FISCHER & BIDELELL, 2006).

A identificação da variabilidade nos padrões de desenvolvimento requer boas escalas de medidas que capturem altos e baixos ao se acompanhar as mudanças e variabilidades do desenvolvimento. Como sugerem FISCHER & BIDELELL (2006), os modelos Rasch são adequados à construção de escalas unidimensionais onde cada pessoa pode ser avaliada para determinar seu caminho particular de desenvolvimento ou de mudança educacional.

Procedimentos quantitativos de análise foram aplicados aos dados empíricos para obter evidências que suportassem inferências para descrever: (i) qual o nível inicial de competência dos estudantes quando eles iniciam cada disciplina; (ii) como é a evolução das competências ao longo de cada semestre.

### **1.3 – Estrutura do Documento**

A busca por evidências de desenvolvimento das competências dos graduandos de Engenharia Civil na matéria Estruturas foi dirigida por um referencial de investigação sobre mudança educacional e por modelos estatísticos apropriados para que o maior

número possível de indicadores que descrevessem a aprendizagem fossem descobertos. O Capítulo 2 apresenta esta fundamentação.

O cenário desta pesquisa foi apresentado no Capítulo 3. A IES onde este estudo foi desenvolvido foi descrita através da organização do currículo de Engenharia Civil. Fez-se também uma apresentação da pesquisa em Educação em Engenharia. Uma visão geral do ensino de engenharia fez parte deste capítulo. Delineou-se um perfil do Engenheiro de Estruturas enfatizando o caráter complexo das suas atividades. Neste capítulo também descrevemos a amostra desta pesquisa e declaramos quais os procedimentos adotados para atender os aspectos éticos.

No Capítulo 4 são descritos os dados coletados para um estudo longitudinal e adequação dos dados aos modelos hierárquicos linear.

As decisões metodológicas e os procedimentos decorrentes destas abordagens estão descritos nos Capítulos 5 e 6. Assim como os resultados das análises estatísticas. Particularmente, no Capítulo 5 estão expostas as razões que levaram à escolha da amostra ser composta pelos alunos que freqüentavam a disciplina Estruturas de Concreto Armado II.

As conclusões deste estudo baseadas nas evidências que se destacaram dos resultados encontrados estão apresentadas no Capítulo 7.

O Capítulo 8 encerra este trabalho propondo sugestões tanto para a educação básica quanto para o ensino das disciplinas da matéria Estruturas nos Cursos de Engenharia.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo estão apresentados os quatro temas que sustentaram as decisões tomadas para a condução deste estudo.

O primeiro tema trata da competência. Os currículos em vigência nas universidades brasileiras são baseados na definição do perfil desejado do formando e nas competências que devem ser desenvolvidas durante os cursos (CNE/CES: Parecer 1362/2001). Esta parece ser uma atitude mundial (ABET, BOLOGNA PROCESS). Como estamos interessados em estudar o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes de engenharia no que concerne às disciplinas que constituem a matéria Estruturas, escolhemos descrevê-lo através da evolução das competências nestas disciplinas.

O segundo tema apresenta as bases para a construção de uma escala de mensuração para o construto competência: o tratamento estatístico via modelos Rasch.

O terceiro tema discute a classe de métodos estatísticos denominada Análise Fatorial, cujo propósito principal é analisar a estrutura das correlações entre um grande número de variáveis. Não há como tratar uma disciplina do ensino superior como formadora ou constituída de uma única competência.

O quarto tema descreve a análise longitudinal hierárquica. Este processo estatístico permite descrever e comparar trajetórias médias e individuais de desenvolvimento quando se têm várias medidas de um construto.

### **2.1 – Competências dos Engenheiros**

Competência é uma palavra polissêmica e foi definida e usada em uma variedade de áreas durante as últimas décadas. No contexto do campo educacional, este termo tem sido utilizado frequentemente com o significado de resultados acadêmicos, aprendizagem, habilidade, entre outros (MÓNICA *et al.*, 2009).

Competência pode ser entendida como a capacidade de mobilizar diversos recursos cognitivos para enfrentar um tipo de situação. Esses recursos cognitivos podem ser conhecimentos teóricos, um saber fazer prático, valores, julgamentos, intuições baseadas



na experiência, habilidades, percepções, avaliações e estimativas. O importante é compreender que para ser competente uma pessoa precisa integrar tudo isso e agir em cada situação de modo pertinente. A competência, portanto, só tem sentido no contexto de uma dada situação, que pode ser denominada de situação-problema (ROBINSON *et al.*, 2005).

Competência(s) reflete(m) o potencial de uma pessoa em atender às demandas cognitivas em áreas específicas do aprendizado e do comportamento. E devido ao seu contexto específico, competências devem ser adquiridas por aprendizado e experiência através de situações relevantes (KOEPPEN *et al.*, 2008). E uma competência global é mais do que a soma de competências individuais (WALTER & RADCLIFFE, 2007).

A Resolução 11/2002 da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação categorizou 14 competências que o profissional de Engenharia Civil deve ter desenvolvido ao final de sua formação inicial, a saber [CNE/CES 1362/2001]:

1.	APLICAR CONHECIMENTOS MATEMÁTICOS, CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS E INSTRUMENTAIS;
2.	PROJETAR E CONDUZIR EXPERIMENTOS E INTERPRETAR RESULTADOS;
3.	CONCEBER, PROJETAR E ANALISAR SISTEMAS, PRODUTOS E PROCESSOS;
4.	PLANEJAR, SUPERVISIONAR, ELABORAR E COORDENAR PROJETOS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA;
5.	IDENTIFICAR, FORMULAR E RESOLVER PROBLEMAS DE ENGENHARIA;
6.	DESENVOLVER E/OU UTILIZAR NOVAS FERRAMENTAS E TÉCNICAS;
7.	SUPERVISIONAR A OPERAÇÃO E A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS;
8.	AVALIAR CRITICAMENTE A OPERAÇÃO E A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS;
9.	COMUNICAR-SE EFICIENTEMENTE NAS FORMAS ESCRITA, ORAL E GRÁFICA;
10.	ATUAR EM EQUIPES MULTIDISCIPLINARES;
11.	COMPREENDER E APLICAR A ÉTICA E RESPONSABILIDADES PROFISSIONAIS;
12.	AVALIAR O IMPACTO DAS ATIVIDADES DA ENGENHARIA NO CONTEXTO SOCIAL E AMBIENTAL;
13.	AVALIAR A VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE ENGENHARIA;
14.	ASSUMIR A POSTURA DE PERMANENTE BUSCA DE ATUALIZAÇÃO PROFISSIONAL.

**Quadro 2.1** – As 14 competências do profissional de Engenharia Civil.

Um exame desta lista de competências mostra uma coleção de itens extremamente curiosa quando se está habituado a pensar o engenheiro como voltado apenas para a

técnica, vista como uma aplicação dos seus fundamentos científicos. A tônica é também em atitudes: atitude empreendedora, atitude ética, atitude cooperativa, atitude pedagógica.

Os fundamentos científicos são essenciais, pois aumentam a flexibilidade e o alcance do "aprender a aprender". E sempre que aparece o desenvolvimento técnico, este exige uma formação a mais, pois o material novo não terá sido estudado na escola, até porque é "novo".

As atividades técnicas diárias em engenharia são: avaliar, modelar, projetar, adaptar, integrar, gerenciar. Especificamente, a engenharia estrutural trata do planejamento, projeto, construção e manutenção de sistemas estruturais para transporte, moradia, trabalho e lazer. Para tanto, as competências envolvidas nestas atividades estão associadas às 14 competências das DCNEng, explicitadas acima. Mas as disciplinas da matéria Estruturas trazem explícitos nas suas ementas apenas tópicos relativos às competências 1, 3 e 9. Várias competências parecem estar delegadas no currículo às atividades complementares, tais como trabalhos de iniciação científica (2, 3 – conceber e projetar, 5, 6, 9, 10, 14), estágios curriculares (3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13).

Competências podem ser mensuradas a partir de seus indicadores que podem ser capturados a partir de diversos tipos de instrumentos: provas escritas, testes computadorizados, simulações, observações diretas professor-aluno. A idéia básica do processo de mensuração da competência é que o sujeito de quem queremos medir a competência esteja utilizando-a enquanto observado ou enquanto realiza as tarefas dos testes, simulações ou provas escritas. Desta forma, o instrumento a ser utilizado precisa ser específico e adequado para cada competência a ser mensurada. No contexto de mensuração de competências complexas é extremamente difícil construir instrumentos unidimensionais, que acessem uma única competência. Em geral um instrumento complexo, tal como uma prova escrita, acessa muitas competências. De particular relevância para este trabalho, a escolha recai no grau em que um instrumento avalia as competências múltiplas envolvidas. O instrumento tem que ser sensível às mudanças no estado das competências que ocorrem durante o processo de aprendizagem (KOEPPEN *et al.*, 2008).

## 2.2 – Tratamento Rasch

A maioria das pessoas está familiarizada com as medidas no mundo físico. Medir no mundo físico é uma atividade corriqueira com instrumentos de medição e escalas bem estabelecidos que nos fornecem informações úteis sobre o mundo que nos rodeia.

As medições no mundo educacional também são inúmeras, mas talvez menos bem estabelecidas universalmente quando comparadas com medidas de grandezas tais como a temperatura e a distância. A dificuldade de medição reside no fato de que os atributos de interesse geralmente não são diretamente visíveis para nós como objetos do mundo físico são. É somente através de indicadores observáveis dos atributos que as medições podem ser feitas.

Para obter uma medida, por exemplo, da competência do estudante é preciso descobrir o que ele sabe e o que pode fazer. Um teste em um assunto estudado pode nos fornecer algumas informações sobre o desempenho acadêmico do aluno. Ou seja, não se pode "ver" a competência como se vê as dimensões de uma casa. Só se pode medir a competência através de variáveis indicadoras de como, por exemplo, os alunos realizam as tarefas acadêmicas (WU & ADAMS, 2007).

A teoria de mensuração refere-se a um conjunto de princípios, idéias, regras e técnicas para quantificar alguns aspectos interessantes de um objeto. Mensuração é o processo de construção de “régua”. A medida é uma posição em uma “régua”. Normalmente, a intenção é fazer inferências com base nas medidas (MEAD, 2008).

Um processo de construção de instrumentos e escalas de medidas nas ciências humanas e sociais é o tratamento Rasch<sup>1</sup>.

Rasch desenvolveu uma família de modelos probabilísticos de mensuração e criou o termo objetividade específica para caracterizá-los: objetividade porque ele permite fazer comparações entre os itens (de um teste) sem referência às pessoas e comparações entre as pessoas sem referência aos itens; específica para distinguí-lo de todos os outros usos da palavra objetividade, mas também para salientar que esta propriedade uma vez satisfeita para um teste não pode ser estendida para todas as situações possíveis.

---

<sup>1</sup> O nome é devido ao matemático Dinamarquês Georg Rasch (1901-1980) que os desenvolveu.

Quando o modelo Rasch é empregado para analisar um conjunto de dados, a perspectiva não é fazer a melhor descrição possível dos dados, mas examinar quão bem os dados se ajustam ao modelo. Pode ser que o conjunto de dados não se ajuste adequadamente ao modelo, exigindo que algumas pessoas e itens sejam eliminados para se satisfazer às estatísticas de ajuste. Mas em tal eventualidade o importante não é eliminar itens e pessoas, mas examinar porque tais itens ou pessoas não se conformam ao modelo de respostas proposto por Rasch. Além disto, dois requisitos devem ser satisfeitos para garantir que a escala de mensuração reflita apenas valores para comparação de uma única variável latente: a unidimensionalidade e a invariância.

A unidimensionalidade é a essência da mensuração. Ela consiste na exigência de que o instrumento esteja medindo apenas um construto, e não uma multiplicidade de construtos. A importância do modelo Rasch como método para a construção de escalas é devido, em grande parte, ao fato de que, ele pressupõe a unidimensionalidade dos dados. Assim, espera-se que após extraída a dimensão Rasch dos dados, os resíduos não contenham um grau apreciável de associação entre si, ou seja, que os resíduos sejam variáveis aleatórias independentes entre si. Se tivermos evidências para julgar que os dados ajustam-se razoavelmente bem a um modelo Rasch, então podemos assumir que apenas uma variável latente deve estar sendo mensurada pela escala construída (WRIGHT & LINACRE, 1989).

A invariância é a característica fundamental da teoria de mensuração. O critério de invariância significa que um instrumento é obrigado a trabalhar da mesma maneira para todos objetos (pessoas) medidos em qualquer ocasião da mensuração (HAGQUIST *et al.*, 2009).

Uma vez atendidas todas as estatísticas de ajuste, os processos estocásticos definidos pelos modelos Rasch não explicam o comportamento dos alunos que produziram as respostas dos itens, mas definem a estrutura da informação que as respostas contêm. Os modelos da família Rasch, como outros modelos de teorias de resposta ao item, modelam a probabilidade de resposta do sujeito a um item em função de parâmetros característicos das pessoas e parâmetros característicos dos itens. No entanto, os modelos Rasch se diferenciam de outras teorias de resposta aos itens por que os parâmetros das pessoas são separáveis dos parâmetros dos itens e porque há estatísticas suficientes para a determinação dos parâmetros do modelo. A soma dos escores brutos dos itens são estatísticas suficientes

para os parâmetros da pessoa e as somas dos escores brutos das respostas das pessoas são estatísticas suficientes para os parâmetros do item.

A forma apropriada do modelo a ser utilizado para produzir a escala de medida é determinada pela natureza da observação e o processo que a gerou. O modelo Rasch mais familiar (MEAD, 2008) é o modelo para dados dicotômicos, isto é, questões (itens) que têm respostas do tipo certo/errado, sim/não, 1/0, concordo/discordo, etc.

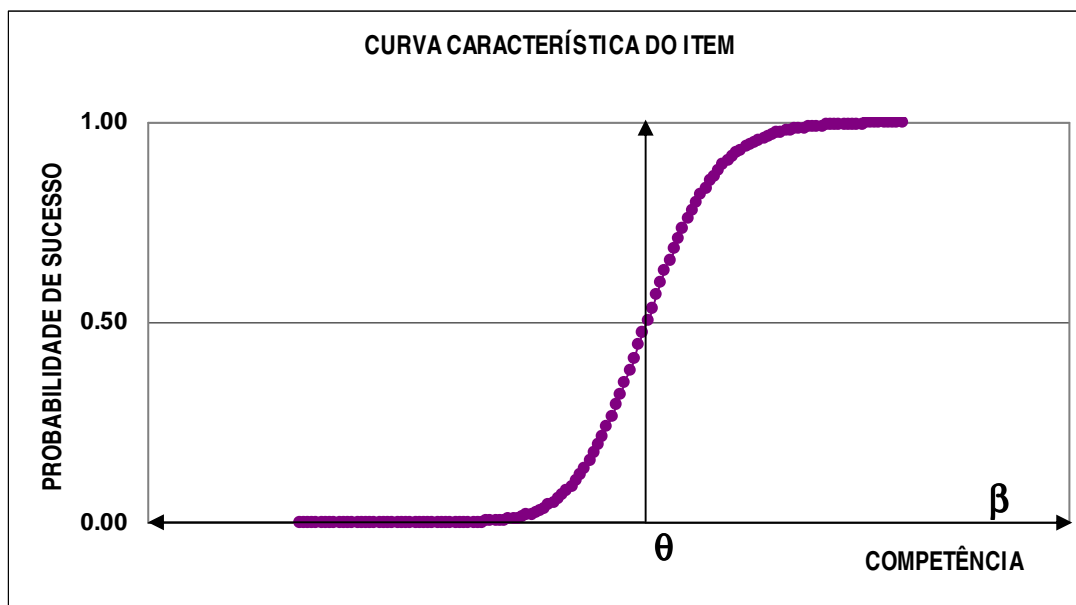
O modelo Rasch dicotômico é uma função logarítmica e contém apenas dois tipos de parâmetros: o parâmetro da pessoa ( $\beta$ ) e parâmetro do item ( $\theta$ ). A forma da função é:

$$p(X = 1) = \frac{e^{\beta - \theta}}{1 + e^{\beta - \theta}}, \quad (2.1)$$

onde  $X$  é uma variável aleatória indicando sucesso ou resposta correta ( $X = 1$ ) ou o contrário ( $X = 0$ ).  $\beta$  é o parâmetro da pessoa denotando sua competência (escala da variável latente).  $\theta$  é o parâmetro do item, geralmente chamado de dificuldade do item, medido na mesma escala da variável latente.

A Equação 2.1 estabelece que a probabilidade de sucesso é uma função da diferença entre a competência da pessoa e a dificuldade do item. E quando a competência da pessoa é igual a dificuldade do item, a probabilidade de sucesso é 50%.

O Gráfico 2.1 representa a função da Equação 2.1, também denominada Curva Característica do Item (ICC).



**Gráfico 2.1** – Curva Característica do Item (WU & ADAMS, 2007).

A CCI é a curva do valor esperado para o item (dificuldade) previsto pelo modelo. No caso do modelo dicotômico a CCI também é a probabilidade de ocorrer um resultado positivo ou a resposta correta na escala contínua de competência.

Rearranjando a Equação 2.1, pode-se demonstrar que:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta - \theta . \quad (2.2)$$

A Equação 2.2 expressa que a distância entre a competência da pessoa e a dificuldade do item ( $\beta - \theta$ ) é igual ao logaritmo da proporção entre a probabilidade de sucesso e a probabilidade de insucesso. Por esta razão a unidade de mensuração nesta nova escala é conhecida por logits (contração de log odds unit).

Para muitas situações de teste, os itens podem ser politômicos, ou seja, ter mais categorias de respostas corretas além de 0/1, sim/não, etc.

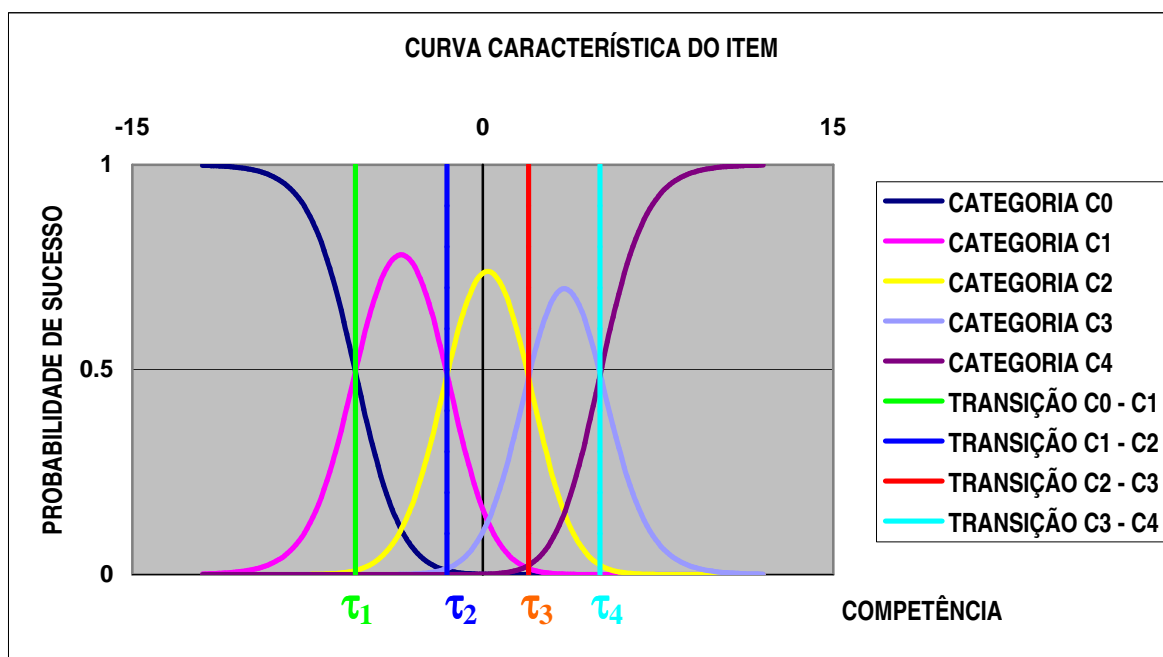
Modelos de Resposta Graduada Politômica (Rasch Rating scale) permitem estimar um conjunto relevante de informações extraídas dos dados para a descrição de um construto que possui várias categorias de respostas.

O modelo Rasch politômico é uma função logarítmica. A forma da função é:

$$p(X = k) = \frac{e^{\beta - \theta + \tau_k}}{1 + e^{\beta - \theta + \tau_k}}, \text{ com } k = 1, m. \quad (2.3)$$

Visto que há mais de duas probabilidades em cada item que têm de ser calculadas (k), novos parâmetros adicionais devem ser adicionados ao modelo. O número de possíveis parâmetros extras é igual ao número de transições ( $\tau_k$ ), que é igual ao número de categorias possíveis dos itens (k) menos um.

O Gráfico 2.2 mostra as curvas de probabilidades para o modelo Rasch politômico. Estão destacadas na escala de competência os parâmetros das transições, sua localização no eixo da escala de competências. Estas dividem a escala da variável latente em regiões que correspondem às categorias de respostas do item. A competência de uma pessoa, observada uma determinada categoria, por exemplo, a categoria 2, será 0 logit.



**Gráfico 2.2** – Curvas de probabilidades para o modelo Rasch politômico.

Uma vez que os parâmetros das pessoas ou dos itens não são conhecidos, eles são estimados de forma iterativa.

O tratamento Rasch, neste estudo, será aplicado aos escores dos indicadores das competências através do pacote estatístico WINSTEPS®.

A documentação do software WINSTEPS® (LINACRE, 2006), registra um conjunto de estatísticas de ajustes dos dados ao modelo. Uma vez que o modelo Rasch é uma idéia teórica e dados empíricos são sempre imperfeitos, espera-se que um teste de ajuste global possa relatar uma inadequação significativa sempre que houver dados suficientes para conferir ao teste este poder (Linacre, comunicação pessoal, 22/02/2010).

Os critérios para o ajuste dos escores ao modelo Rasch serão abordados caso a caso em conjunto com os resultados encontrados para este estudo, nos Capítulos 5 e 6.

### **2.3 – Análise Fatorial**

Análise fatorial exploratória é uma classe de métodos estatísticos multivariados cujo propósito principal é analisar a estrutura das correlações entre um grande número de variáveis (por exemplo, escores de testes, itens de testes, respostas de questionários), definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, chamados fatores. E então determinar o grau em que cada variável é explicada por cada dimensão. A análise fatorial exploratória é um recurso estatístico para a verificação da existência de unidimensionalidade em um conjunto de indicadores.

Os fatores são entidades (construtos) hipotéticas não diretamente observáveis, que quando interpretadas e compreendidas, descrevem os dados em um número muito menor de conceitos do que as variáveis individuais originais. Nas pesquisas com análise fatorial, o pesquisador assume que as variáveis latentes ou fatores “causam” as variáveis observadas.

A análise fatorial difere das técnicas de dependência (regressão múltipla) nas quais uma ou mais variáveis são explicitamente consideradas como as variáveis dependentes e todas as outras são as variáveis preditoras ou independentes. A análise fatorial é uma técnica de interdependência na qual todas as variáveis são simultaneamente consideradas, cada uma relacionada com todas as outras. Os fatores são formados para maximizar seu poder de explicação do conjunto inteiro de variáveis, e não para prever uma variável dependente.



A correlação entre as variáveis originais e os fatores é denominada carga fatorial. A carga fatorial é um meio de interpretar o papel que cada variável tem na definição de cada fator. As cargas indicam o grau de correspondência entre a variável e o fator, sendo que cargas maiores fazem a variável representativa do fator.

Ao interpretar fatores, é preciso tomar a decisão sobre quais cargas fatoriais serão significativas. Em síntese, considera-se que as cargas fatoriais maiores que  $\pm 0,30$  atingem um nível mínimo de significância; cargas de  $\pm 0,40$  são consideradas mais importantes; e se as cargas são de  $\pm 0,50$  ou maiores, elas são consideradas com significância prática. (HAIR *et al.*, 2009). Logo, quanto maior o valor absoluto da carga fatorial, mais importante a carga na interpretação da matriz fatorial. Como a carga fatorial é a correlação da variável e do fator, a carga ao quadrado é a quantia de variância total da variável explicada pelo fator. Assim, uma carga de 0,30 reflete aproximadamente 10% de explicação e uma carga de 0,50 denota que 25% da variância é explicada pelo fator. A carga deve exceder 0,70 para que o fator explique 50% da variância. A ênfase nesta abordagem é a significância prática, e não estatística.

Os sinais são interpretados simplesmente como quaisquer outros coeficientes de correlação. Em cada fator, sinais iguais significam que as variáveis estão positivamente relacionadas e sinais opostos significam que as variáveis estão negativamente relacionadas. Portanto, sinais para cargas fatoriais relacionam-se apenas com o fator no qual elas aparecem, e não com outros fatores na solução (HAIR *et al.*, 2009).

Quando se obtém a solução fatorial adequada, na qual todas as variáveis tem uma carga significativa (ou significativa) em um fator, deve-se designar algum significado para o padrão de cargas fatoriais. As variáveis com cargas mais altas são consideradas mais importantes e tem maior influência a interpretação do fator, referindo-se sobre o nome ou rótulo selecionado para representar o fator.

#### **2.4 – Mudança Educacional: Análise Hierárquica em Estudos Longitudinais**

A teoria do desenvolvimento cognitivo preconiza que cada ser humano segue diferentes caminhos ou trajetórias de desenvolvimento. E estas diferenças ou variabilidades são no mínimo de duas formas. Diferentes pessoas podem se desenvolver em diferentes

habilidades enquanto outras podem seguir diferentes caminhos em uma mesma habilidade (FISCHER, 1980).

Da mesma forma, atividades humanas variam dinamicamente, ou seja, momento a momento, em conteúdo e complexidade. O exame sistemático dos recursos cognitivos ativados pelas pessoas ao realizarem atividades sobre a influência de muitos fatores interagindo de maneira complexa fornece dados para a análise e descrição dos processos de mudanças na aprendizagem e desenvolvimento (YAN & FISCHER, 2002).

No cenário atual os problemas profissionais da Engenharia não fogem desta característica. Eles se apresentam como problemas multifacetados em aspectos técnicos, econômicos, humanos administrativos, culturais ambientais e éticos. Este caráter holístico e multidisciplinar exige a ativação conjunta de várias habilidades. No caso da Engenharia de Estruturas, muitas atividades devem atender também a uma hierarquia inerente ao processo de projeto estrutural.

Estudos sobre mudança educacional são investigações empíricas que focam na evolução de características e experiências individuais. Características individuais podem ser quaisquer aspectos da natureza humana, por exemplo, biológicos, psicológicos e sociais que são mensuráveis e sujeitos a mudanças. Experiências são eventos ou fenômenos que podem ou não acontecer com os indivíduos ao longo de um período definido, o que pode gradualmente dar forma ao curso da vida (BOYLE & WILLMS, 2001).

Considerando que a história de uma pessoa pode capturar vários domínios de mudança, medidas repetidas de uma pessoa criam uma base para esboçar sua história. Há inúmeras maneiras de calibrar a evolução do fenômeno de desenvolvimento: minutos, horas, dias, meses, anos. A seleção desta unidade de tempo depende da natureza da investigação (RAUDENBUSH, 2001).

Entretanto, os dados coletados para o estudo longitudinal devem, em cada ocasião, ser mensurados em uma métrica comum, de forma que mudança ao longo do tempo reflita desenvolvimento e não apenas mudanças de escalas (BRYK & RAUDENBUSH, 1987). Neste estudo, a construção de uma escala de medida para mensurar as mudanças na competência será através dos modelos Rasch (Item 2.2).

Estudos longitudinais para mensurar mudança educacional possibilitam estimar a taxa com a qual cada estudante adquire competências e determinar qual a influência dos contextos e práticas escolares nas trajetórias de desenvolvimento (ZVOCH & STEVENS, 2005).

O fundamento lógico para a análise hierárquica longitudinal é um modelo estatístico linear em dois níveis. O primeiro nível define os parâmetros de mudança da trajetória de um único participante do estudo. O segundo nível compara as pessoas definindo como variam os parâmetros das trajetórias pessoais.

O modelo estatístico do nível 1 (modelo de crescimento intra-pessoal) estima o estado inicial das competências que são exigidas quando ele ingressa em uma disciplina da matéria Estruturas e a trajetória (forma da curva) construída pelas consecutivas ondas de coleta de dados.

O modelo estatístico do nível 2 estima como e quais fatores (correlatos ou preditores) relacionados à história de vida acadêmica, características pessoais e outros influenciaram o estado inicial e a forma da trajetória de cada sujeito (modelo de crescimento inter-pessoal).

As Equações 2.4 e 2.5 descrevem as trajetórias lineares de mudança do nível 1 (WILLET & SINGER, 2003):

$$Y_{ij} = \beta_{0ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.4a)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2) \quad (2.4b)$$

$$\beta_{0ij} = \gamma_{00} + \zeta_{0i} \quad (2.4c)$$

$$\zeta_{0i} \sim N(0, \sigma_{\zeta}^2) \quad (2.4d)$$

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \zeta_{0i} + \varepsilon_{ij} \quad (2.5)$$

O modelo foi desdobrado em dois sub-níveis permitindo quantificar a variância dos dados e distribuí-la entre parcelas devidas aos desvios intra  $\varepsilon_{ij}$  (sub-nível 1) e inter  $\zeta_{0i}$  (sub-nível 2) pessoas em relação às médias. O sub-nível 1 não depende do tempo, portanto não descreve as competências ao longo do estudo. A Equação 2.4 (a) descreve este sub-nível: nele  $Y_{ij}$  representa uma das competências previstas para o sujeito  $i$ . Ele possui uma trajetória plana de mudança com uma elevação (ou estado inicial)  $\beta_{0i}$ . A Equação 2.4(b) corresponde ao sub-nível 2: o primeiro termo estabelece que a trajetória

plana para cada sujeito  $i$  pode diferir na elevação pelo fator  $\zeta_{0i}$ . Desta forma  $\beta_{0i}$ , medida inicial estimada da competência do sujeito  $i$ , é igual à soma de  $\gamma_{00}$ , elevação média entre os sujeitos da população, com o fator  $\zeta_{0i}$  correspondente ao desvio do sujeito  $i$  em relação à média  $\gamma_{00}$  da população. Portanto a competência  $Y_{ij}$  na ocasião  $j$  para um sujeito  $i$  é dada pela soma de  $\beta_{0i}$ , medida inicial estimada da competência do sujeito  $i$ , com o desvio  $\varepsilon_{ij}$  do sujeito  $i$  na ocasião  $j$ .

As equações 2.4 (c) e 2.4 (d) estabelecem a forma das componentes da variância total:  $\sigma_{\varepsilon}^2$  é a variância do sujeito e  $\sigma_0^2$  é a variância entre os sujeitos. A Equação 2.5 especifica o modelo completo.

As Equações 2.6 e 2.7 descrevem as trajetórias lineares de mudança do nível 2. A diferença entre estas equações e as equações a introdução do primeiro preditor de mudança: o Tempo:

$$Y_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1i} \cdot \text{Tempo}_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.6a)$$

$$\beta_{0i} = \gamma_{00} + \zeta_{0i} \quad (2.6b)$$

$$\beta_{1i} = \gamma_{10} + \zeta_{1i} \quad (2.6c)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2) \quad (2.6d)$$

$$\begin{bmatrix} \zeta_{0i} \\ \zeta_{1i} \end{bmatrix} \approx N \left( 0; \begin{bmatrix} \sigma_0^2 & \sigma_{01} \\ \sigma_{10} & \sigma_1^2 \end{bmatrix} \right) \quad (2.6e)$$

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10} \cdot \text{Tempo}_{ij} + [\zeta_{0i} + \zeta_{1i} \cdot \text{Tempo}_{ij} + \varepsilon_{ij}] \quad (2.7)$$

A Equação 2.6(a) especifica que a competência observada na ocasião  $j$  para o sujeito  $i$ ,  $Y_{ij}$ , desvia da sua real trajetória de mudança devido ao valor de  $\varepsilon_{ij}$ . Para tal, o modelo é acrescido do parâmetro  $\beta_{0i}$  que descreve a variação das taxas de mudança do sujeito  $i$ . As Equações 2.6(b) e 2.6(c) estabelecem que os parâmetros individuais de

mudança  $\beta_{0i}$  e  $\beta_{1i}$  são, respectivamente, somas dos interceptos  $\gamma_{00}$  e  $\gamma_{10}$  com os resíduos  $\zeta_{0i}$  e  $\zeta_{1i}$ .

A modificação introduzida faz com que as componentes da variância mudem de significado. Agora  $\sigma_{\epsilon}^2$  é a variância de cada sujeito em relação a sua trajetória linear de mudança e  $\sigma_0^2$  e  $\sigma_1^2$  são, respectivamente, as variâncias no estado inicial e nas taxas de mudança entre sujeitos.

A covariância  $\sigma_{01}$  quantifica a correlação entre o estado inicial e a taxa de desenvolvimento. Por exemplo, um estudante que tem um alto (baixo) desempenho no início do curso em um determinado assunto cresce (ou decresce) mais rapidamente ao longo do curso em outros assuntos.

A estimativa destas variâncias determinam que a origem das diferenças de trajetórias são devidas às variações no estado inicial ou nas taxas de mudança. Elas quantificam o valor das variações nos parâmetros que não estão explicados pelo modelo (Eqs. 2.6 e 2.7). Se a hipótese nula (as variâncias não são diferentes de zero) no nível de  $p < 0.05$  for rejeitada, o modelo deve ser modificado com a introdução de correlatos (ou preditores) que possam explicar a heterogeneidade em cada parâmetro.

A inserção destes correlatos no modelo está genericamente representada no conjunto de Equações 2.8. A construção de correlatos para este estudo está relatada no Capítulo 4.

$$Y_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1i} \cdot \text{Tempo}_{ij} + \epsilon_{ij}$$

$$\beta_{0i} = \gamma_{00} + \gamma_{01} \cdot (\text{correlato } 1) + \gamma_{02} \cdot (\text{correlato } 2) + \dots + \gamma_{0n} (\text{correlato } n) + \zeta_{0i} \quad (2.8)$$

$$\beta_{1i} = \gamma_{10} + \gamma_{11} \cdot (\text{correlato } 1) + \gamma_{12} \cdot (\text{correlato } 2) + \dots + \gamma_{1n} (\text{correlato } n) + \zeta_{1i}$$

O pacote estatístico utilizado para a análise hierárquica foi o software MLwiN® (RASBASH *et al.*, 2009).

Os critérios para o ajuste dos modelos hierárquicos serão abordados caso a caso em conjunto com os resultados encontrados para este estudo, nos Capítulos 5 e 6.

Atualmente os currículos de engenharia estão sendo influenciados pelos programas de credenciamento das universidades. O termo central dos novos currículos é a aquisição de competências. Nesta perspectiva, emergem, como elementos básicos das novas diretrizes curriculares, a definição do perfil desejado do formando e as competências que devem ser desenvolvidas durante o curso.

Avaliar aquisição de competências é avaliar os resultados de aprendizagem. Mas para isto é necessário a construção de métricas. A família de modelos Rasch é uma alternativa para a obtenção de “régua” para medir construtos a partir de respostas de testes acadêmicos.

As medidas obtidas pelas “régua” de competência serão tratadas pelos modelos estatísticos hierárquicos. Portanto, modelos de competências serão construídos proporcionando evidências para descrever como os alunos aprendem ou adquirem competências nas disciplinas da matéria de Estruturas.

### **3 — O CENÁRIO DA PESQUISA**

Este capítulo descreve o panorama onde esta pesquisa se insere. O primeiro aspecto focado é a Pesquisa em Educação em Engenharia no Brasil. O segundo aspecto é do ensino de engenharia, visto pelo ângulo das ações governamentais, institucionais e da sala de aula.

E logo na seqüência, o currículo da IES, onde esta pesquisa se desenvolveu, é comentado, especificamente, focando as disciplinas da matéria Estruturas e à luz das Diretrizes Curriculares Nacionais.

Apresenta-se o Engenheiro de Estruturas. Ao descrever suas atividades, percebe-se a complexidade das competências exigidas pela profissão. Pode-se concluir que são diferentes conteúdos agregados. Portanto, qualquer mensuração que se faça em um indicador da competência atual esta deverá estar medindo várias competências formadas ao longo da vida acadêmica.

Finalizando o capítulo, a mostra escolhida para este estudo é descrita.

#### **3.1 – A Pesquisa em Educação em Engenharia**

A Engenharia de Estruturas é uma área do conhecimento e de pesquisa científica e tecnológica.

Como área do conhecimento a Engenharia de Estruturas trata do planejamento, projeto, construção e manutenção de sistemas estruturais para transporte, moradia, trabalho e lazer. A grande maioria dos engenheiros de Estruturas, no Brasil, possui seu bacharelado em Engenharia Civil.

Como área de pesquisa científica e tecnológica, tomando como referência a tabela de áreas do CNPq, Estruturas é uma sub-área da Engenharia Civil. A área de concentração de Estruturas é voltada para o estudo e pesquisa fundamentais e aplicados do comportamento das estruturas e das propriedades dos materiais de construção, cobrindo uma gama de materiais que vão desde aqueles convencionais como concreto e aço aos novos materiais desenvolvidos para realizar uma determinada função estrutural. Estes estudos e pesquisas visam a realização de obras civis seguras e ambientalmente

sustentáveis com elevados desempenho e custo-benefício para a sociedade. Estes estudos e pesquisas não incluem nas suas problemáticas a Educação em Engenharia.

Em 1996, a ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), uma organização americana sem fins lucrativos que credencia programas de nível superior em ciências aplicadas, computação, engenharia e tecnologia aprovou o critério denominado Engineering Criteria 2000 (EC2000), segundo o qual os programas deveriam demonstrar nas avaliações, a partir de 2001, o desenvolvimento de 11 competências em seus graduandos. Simultâneo e progressivamente são publicados relatórios pela The National Academies (National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine e National Research Council) – por exemplo: How People Learn e The Engineer of 2020 – que proclamam o repensar do ensino das ciências e como educar as futuras gerações de engenheiros capazes de atender às demandas de uma população crescente composta de indivíduos longevos.

Com o suporte da National Science Foundation, em 2006, foram realizados The Engineering Educational Research Colloquies – EERC – com a participação de professores, pesquisadores e profissionais das áreas de ciências, engenharia e matemática. Nestes colóquios cinco áreas ou temas de pesquisa prioritários foram identificados: Epistemologias da Engenharia (Engineering Epistemologies), Mecanismos de Aprendizagem em Engenharia (Engineering Learning Mechanisms), Sistemas de Aprendizagem em Engenharia (Engineering Learning Systems), Inclusão e Diversidade na Engenharia (Engineering Diversity and Inclusiveness) e Avaliação (Engineering Assessment) [Special Report a, b, 2006].

As Epistemologias da Engenharia englobam pesquisas que caracterizem a natureza do conhecimento da engenharia, seus aspectos técnicos, sociais e éticos. Explorar o que é preciso ser aprendido, pois tanto os estudantes quando o setor produtivo esperam poder aplicar com sucesso o que é estudado. Pesquisas que considerem as dimensões históricas, contextuais e filosóficas pertencentes à profissão de engenheiro são essenciais para o seu entendimento como um campo único.

A pesquisa sobre os Mecanismos de Aprendizagem procura descrever o conhecimento, as competências e as atitudes prévias dos estudantes que influenciam o aprendizado, e também como eles desenvolvem habilidades para aprender, raciocinar,



inovar e solucionar problemas como um profissional. Portanto, percebe-se uma mudança de paradigma: do “como ensinar” para “como aprender”.

A pesquisa sobre Sistemas de Aprendizagem está direcionada a estabelecer quais são as teorias utilizadas pela comunidade docente para tomar decisões sobre currículos, cursos, práticas pedagógicas; a descrever a epistemologia dos educadores, a interdisciplinaridade e a examinar a infra-estrutura das escolas. Esta linha tem também como objetivo associar as pesquisas sobre a natureza do conhecimento em engenharia e sobre a aprendizagem.

A pesquisa sobre Inclusão e Diversidade na Engenharia procura entender como as influências de diversos talentos na sociedade contribuem ou possam vir a contribuir para os processos e produtos da engenharia.

A pesquisa sobre Avaliação é considerada um elemento chave, pois fornece informações para o sistema educacional sobre o estado da engenharia como profissão, o engajamento dos estudantes e seu aprendizado e sobre métodos e sistemas de ensino.

Adotando a categorização da iniciativa americana EERC, a pesquisa aqui relatada se insere no tema Mecanismos de Aprendizagem em Engenharia focando as disciplinas da matéria Estruturas nos cursos de Engenharia.

### **3.2 – O Ensino de Engenharia**

A carreira de um engenheiro está se tornando mais complexa. Os contornos disciplinares tradicionais estão difusos ou desaparecendo, fazendo com que não seja fácil, como em décadas passadas, identificar um engenheiro civil, mecânico ou químico. É bastante comum hoje, encontrar graduados em qualquer uma destas especificidades, atuando em áreas de biotecnologia, nanotecnologia, e em vários outros campos emergentes. O conhecimento e as competências que estes profissionais devem demonstrar estão em evolução constante.

Esta realidade sugere que o ensino de engenharia deve ser continuamente revitalizado na tentativa de antecipar às mudanças que venham a ocorrer na tecnologia e na sociedade. Esta realidade desafia frontalmente a qualidade do ensino.

Ações governamentais avaliam os estabelecimentos de ensino de graduação com a finalidade de fornecer à sociedade parâmetros de escolha e fundamentam as decisões do MEC para o reconhecimento de cursos e credenciamento de instituições. O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – Sinaes (SINAES) é formado por três componentes principais: a avaliação das instituições, dos cursos e do desempenho dos estudantes. Este último, o Enade, tem o objetivo de aferir o rendimento dos alunos dos cursos de graduação em relação aos conteúdos programáticos, suas habilidades e competências (ENADE).

Ações institucionais buscam atender aos critérios de avaliação e às Diretrizes Curriculares Nacionais estabelecidos pelo MEC (CNE/CES 1362/2001), qualificando seu corpo docente com a contratação de professores com formação acadêmica completa; criando novos cursos para atender as novas interfaces do conhecimento; flexibilizando os currículos existentes, com a preocupação de formar profissionais para atuar ética, técnica e socialmente.

O modelo brasileiro de formação de engenheiros ainda é o modelo geral de formação profissional universitária. Esse modelo, segundo Schön, foi muito bem descrito por Edgar Schein e consiste de três etapas: primeiro ensine aos estudantes a ciência básica relevante; segundo ensine a eles a ciência aplicada relevante e, terceiro, dê a ele um “practicum” – um espaço para praticar – aonde possam aplicar essa ciência aos fatos cotidianos (SCHÖN, 1987).

Nesta mesma lógica sequencial, os laboratórios, as provas, os testes e trabalhos práticos são colocados como verificação e aplicação da teoria já apresentada. São certificações de um conhecimento já adquirido, não uma avaliação para correção de um caminho e aperfeiçoamento de um aprendizado. E, por conseqüência, são atividades individuais, calcadas na memorização ou no uso adestrado de tabelas e formulários. A prova individual com tempo de duração pré-fixado é o padrão adotado para as avaliações. A atividade projeto, nas disciplinas iniciais do curso de engenharia da IES em foco, quando existe, restringe-se à aplicação de um algoritmo padronizado, começando pelo reconhecimento dos dados para esta aplicação, isto é, uma atividade referida a um conteúdo pré-especificado, não ao mundo externo e a seus problemas.

O ensino sobre a matéria estruturas se encaixa perfeitamente no modelo descrito acima (cf. Anexo 1 – Grade Curricular). Inicialmente o estudante estuda a ciência básica nas disciplinas Física e Mecânica, em seguida passa para a ciência aplicada, Resistência dos Materiais e Teorias das Estruturas. A primeira estuda o relacionamento entre as forças aplicadas externas a um sistema estrutural e os efeitos internos produzidos, tensões e deformações. A segunda estuda o relacionamento entre forças que atuam em um sistema estrutural e as condições de equilíbrio estático que devem ser satisfeitas, ou seja, deslocamentos nulos ou conhecidos. Estas grandezas físicas envolvidas situam-se em escalas extremas. Enquanto as forças possam ser da ordem de milhares de toneladas-força tem-se que projetar para obter uma estrutura com deslocamentos da ordem de milímetros. Projetar uma estrutura é uma atividade complexa exigindo do engenheiro a utilização de inúmeros conceitos de forma simultânea e não seqüencial como é ensinado. O projeto estrutural parte de uma concepção geral da estrutura e termina com a documentação que possibilita a sua construção.

Entretanto, o ensino atual nas disciplinas de estruturas enfatiza a análise numérica e técnicas de detalhamento, ou seja, algoritmos e fórmulas, em detrimento do desenvolvimento conceitual sobre o comportamento das estruturas e dos materiais e da aprendizagem dos conceitos mais abstratos: compreensão qualitativa do desempenho e da resposta das estruturas sob as ações que lhe são imposta (BOZZO & FENVES, 1994); domínio das alternativas e exigências estruturais para os diversos tipos de estruturas, em configurações estáticas ou dinâmicas; capacidade de identificar corretamente o jogo localizado de forças internas; habilidade em modelar adequadamente a estrutura para análise; capacidade de dialogar e interagir com discernimento com os colegas das áreas intervenientes no projeto estrutural (urbanismo, arquitetura, paisagismo, controle ambiental, conservação de energia, instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, acústicas, etc.).

### **3.3 – A Organização do Currículo da Escola de Engenharia**

As Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Engenharia (DCNEng) têm por objetivo servir de referência na organização curricular das instituições de ensino superior do país e delinear o perfil desejado do egresso/profissional.

As DCNEng estabelecem que a formação do engenheiro deve ser generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitando-o a absorver e desenvolver novas tecnologias, considerando aspectos políticos, econômicos, sociais e éticos (Art. 3o, CNE/CES 11/2002).

No texto da Resolução CNE/CES 11, o Art. 5º determina que cada curso de Engenharia deve possuir um projeto pedagógico que demonstre como o conjunto das atividades previstas garantirá o perfil desejado de seu egresso e o desenvolvimento das competências e habilidades esperadas. Ênfase deve ser dada à necessidade de se reduzir o tempo em sala de aula, favorecendo o trabalho individual e em grupo dos estudantes, trabalhos de síntese e integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Deverá se constituir em atividade obrigatória como requisito para a graduação um destes trabalhos citados. Deverão ser estimuladas atividades complementares: trabalhos de iniciação científica, projetos multidisciplinares, visitas técnicas, desenvolvimento de protótipos, monitorias, participação em empresas junior e outras atividades empreendedoras. E ainda, estágios curriculares obrigatórios devem ser realizados como etapa integrante da graduação sob supervisão direta da instituição de ensino. Esta supervisão se dará por meio de relatórios técnicos e acompanhamento individualizado durante o período de realização da atividade.

O curso deve possuir, em seu currículo, um núcleo de conteúdos básicos (30% da carga horária mínima), um núcleo de conteúdos profissionalizantes (15% da carga horária mínima) e um núcleo de conteúdos específicos, propostos exclusivamente pela instituição, que caracterizem a modalidade (55% da carga horária mínima).

O núcleo de conteúdos básicos e o núcleo de conteúdos profissionalizantes definido por cada IES versarão sobre um subconjunto coerente dos tópicos apresentados no texto da Resolução CNE/CES 11 e transcritos na Tabela 3.1.a e b.

**Tabela 3.1 (a) – Núcleo de Conteúdos Básicos.**

NÚCLEO DE CONTEÚDOS BÁSICOS	
METODOLOGIA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA	ELETRICIDADE APLICADA
COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO	QUÍMICA
INFORMÁTICA	CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS
EXPRESSÃO GRÁFICA	ADMINISTRAÇÃO
MATEMÁTICA	ECONOMIA
FÍSICA	CIÊNCIAS DO AMBIENTE
FENÔMENOS DE TRANSPORTE	HUMANIDADES, CIÊNCIAS SOCIAIS E CIDADANIA.
MECÂNICA DOS SÓLIDOS	

**Tabela 3.1 (b) – Núcleo de Conteúdos Profissionalizantes.**

<b>NÚCLEO DE CONTEÚDOS PROFISSIONALIZANTES</b>	
ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE DADOS	MATERIAIS ELÉTRICOS
BIOQUÍMICA	MECÂNICA APLICADA
CIÊNCIA DOS MATERIAIS	MÉTODOS NUMÉRICOS
CIRCUITOS ELÉTRICOS	MICROBIOLOGIA
CIRCUITOS LÓGICOS	MINERALOGIA E TRATAMENTO DE MINÉRIOS
COMPILADORES	MODELAGEM, ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
CONSTRUÇÃO CIVIL	OPERAÇÕES UNITÁRIAS
CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS	ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES
CONVERSÃO DE ENERGIA	PARADIGMAS DE PROGRAMAÇÃO
ELETROMAGNETISMO	PESQUISA OPERACIONAL
ELETRÔNICA ANALÓGICA E DIGITAL	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO
ENGENHARIA DO PRODUTO	PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS
ERGONOMIA E SEGURANÇA DO TRABALHO	QUALIDADE
ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO	QUÍMICA ANALÍTICA
FÍSICO-QUÍMICA	QUÍMICA ORGÂNICA
GEOPROCESSAMENTO	REATORES QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS
GEOTECNIA	SISTEMAS ESTRUTURAIS E TEORIA DAS ESTRUTURAS
GERÊNCIA DE PRODUÇÃO	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GESTÃO AMBIENTAL	SISTEMAS MECÂNICOS
GESTÃO ECONÔMICA	SISTEMAS OPERACIONAIS
GESTÃO DE TECNOLOGIA	SISTEMAS TÉRMICOS
HIDRÁULICA, HIDROLOGIA APLICADA E SANEAMENTO BÁSICO	TECNOLOGIA MECÂNICA
INSTRUMENTAÇÃO	TELECOMUNICAÇÕES
MÁQUINAS DE FLUXO	TERMODINÂMICA APLICADA
MATEMÁTICA DISCRETA	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	TRANSPORTE E LOGÍSTICA.
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA	

O núcleo de conteúdos específicos é constituído em extensões e aprofundamentos dos assuntos ministrados no núcleo de conteúdos profissionalizantes, bem como de outros destinados a caracterizar modalidades. Estes conteúdos, compondo o restante da carga horária total, são propostos exclusivamente por cada IES. Constituem-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição das modalidades de engenharia e devem garantir o desenvolvimento das competências e habilidades estabelecidas nestas diretrizes.

Para a IES em foco nesta pesquisa, a Tabela 3.2 apresenta as disciplinas, do currículo em vigor, que compõem o conjunto harmônico que o corpo docente denomina de Disciplinas de Estruturas:

**Tabela 3.2 – Disciplinas da Matéria Estrutura.**

NOME	NÚCLEO DE CONTEÚDOS	CLASSIFICAÇÃO
MECÂNICA PARA ENGENHEIROS	PROFISSIONALIZANTES	CURRÍCULO MÍNIMO [CM]
ANÁLISE ESTRUTURAL I	PROFISSIONALIZANTES	CM
ANÁLISE ESTRUTURAL II	PROFISSIONALIZANTES	CM
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS I	PROFISSIONALIZANTES	CM
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS II	PROFISSIONALIZANTES	CM
ESTRUTURAS DE AÇO I	ESPECÍFICOS	CM
ESTRUTURAS DE AÇO II	ESPECÍFICOS	CM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO I	ESPECÍFICOS	CM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO II	ESPECÍFICOS	CM
ESTRUTURAS USUAIS DE MADEIRA	ESPECÍFICOS	OPTATIVAS [OP]
PROJETO DE ESTRUTURAS EM MADEIRA	ESPECÍFICOS	OP
ESTRUTURAS DE PONTES	ESPECÍFICOS	OP
DESENHO ESTRUTURAL	ESPECÍFICOS	OP
INTRODUÇÃO AO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	ESPECÍFICOS	OP
PROJETO DE EDIFÍCIOS EM AÇO	ESPECÍFICOS	OP
PROJETO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO	ESPECÍFICOS	OP
PERFIS FORMADOS A FRIO	ESPECÍFICOS	OP
CONCRETO PROTENDIDO	ESPECÍFICOS	OP

Faz-se necessário comentar sobre a mudança da abordagem entre estes Núcleos. Nos dois primeiros, os conteúdos estudados podem ser classificados como Ciência Básica e o terceiro como Ciência Aplicada. Neste o aluno passa a ter que conectar várias teorias físicas e procedimentos numéricos resultantes da formalização da Engenharia Estrutural como ciência, com algoritmos e códigos normativos inerentes ao projeto de estruturas. Portanto, são disciplinas onde o aluno tem aplicar vários conteúdos abordados anteriormente para entender e aplicar o atual.

Todas as disciplinas constantes da Tabela 3.2 são semestrais. Em função do número de alunos que ingressam por semestre são necessárias 03 turmas para cada uma das disciplinas classificadas como Currículo Mínimo. As disciplinas Optativas normalmente têm uma turma.

Para as disciplinas pertencentes ao Currículo Mínimo, a avaliação é feita por meio de três provas escritas. A critério dos professores envolvidos podem fazer parte ainda da avaliação trabalhos práticos realizados em sala de aula ou extra-classe. Estes trabalhos podem ser individuais ou em grupos e em geral contam com o auxílio de monitores e dos próprios professores.

Para as disciplinas classificadas como Optativas, as três provas podem, a critério do professor, ser substituídas por duas ou menos provas e trabalhos ou ainda apenas por trabalhos.

### **3.4 – O Engenheiro de Estruturas**

É difícil estabelecer uma data exata para o nascimento do engenheiro de estruturas, mas sem dúvida foi resultado da habilidade em projetar e construir estruturas com alto grau de sofisticação atendendo às demandas da humanidade. O estágio atual de desenvolvimento da Engenharia de Estruturas deve-se, também, à evolução constante principalmente da ciência dos materiais, da computação, das técnicas de construção. Mas pouco se conhece sobre os processos cognitivos envolvidos na atividade de projeto de uma estrutura.

Embora a engenharia estrutural seja mais diretamente associada com a engenharia civil, esta possui interfaces com todas as engenharias que requeiram um sistema ou componente estrutural para alcançar seus objetivos. Design e construção de pontes; edifícios; barragens; transporte e armazenamento de gás, líquidos, grãos; geração e transporte de energia; componentes de máquinas; componentes biomecânicos; equipamentos esportivos, dentre outros, requerem a engenharia estrutural.

A natureza interage com os corpos seja pela gravidade atuando sobre a massa do corpo, pela temperatura que altera as dimensões dos corpos, o empuxo hidrostático, os sismos, o vento. Portanto, o estudo das estruturas inicia-se pelo entendimento dos princípios básicos que definem e descrevem o comportamento dos objetos físicos submetidos a forças.

Engenheiros modelam problemas para resolvê-los. Modelos representam realidades concretas e interesses, mas também se referem a conceitos abstratos, onde entram a ciência e suas teorias. Há duas direções para o sentido de um modelo: o sentido da relação com o real e o sentido da relação com o conceito. Portanto, um modelo só é eficaz se, ao mesmo tempo, representa o conceito e o objeto concreto, e as suas relações, que são determinadas pelo problema que o origina e motiva.

Estas considerações mostram, portanto, que projetar uma estrutura é uma atividade complexa exigindo do engenheiro a utilização de inúmeros conceitos de forma simultânea.

Vários professores reconhecem o alto nível de abstração envolvida na análise numérica e a dificuldade de visualização dos conceitos como os principais motivos que levam aos alunos a baixa performance nas disciplinas de estruturas. NAKAO e GRIMONI (2006) relatam que a disciplina Resistência dos Materiais na Escola Politécnica da USP detém um alto índice de reprovações. As aulas são predominantemente expositivas e dessa forma, todos os cenários – os materiais, os conceitos, as práticas, os exercícios – devem ser cuidadosamente montados para que os primeiros erros dos alunos possam ser corrigidos eficientemente e não simplesmente refutados. Ressaltam que como há diferenças individuais, há também diferentes estilos de raciocínio que justificam a utilização de várias estratégias de ensino e materiais diferenciados.

Por outro lado talvez aqui seja lugar para um questionamento: será que os estudantes têm baixo desempenho porque há muita abstração na análise numérica ou porque não aprenderam os conceitos mais abstratos ligados ao projeto estrutural? Essa questão pode parecer um contra-senso, mas não o é se for considerado como o estudante concebe o conhecimento sobre análise numérica. O estudante pode trabalhar com os algoritmos numéricos como um conhecimento de natureza predominantemente procedimental e não como um conhecimento conceitual. Neste caso o estudante pode lidar com a análise numérica como algoritmos que aplica sem entendê-lo conceitualmente. Ele pode aprender o saber fazer e não o saber porque ou saber como. Esse uso de fórmulas e algoritmos como objetos manipuláveis também é documentado em pesquisas sobre ensino de Física e mesmo nos níveis iniciais da escolarização. Por exemplo, ARONS (1983) ao discutir o ensino do conceito de densidade na escola para pré-adolescentes ou para adolescentes, afirmou que muitas vezes ao manipular a fórmula da densidade eles o fazem como se tivessem realizando uma operação concreta no sentido piagetiano, isto é, estão apenas dispendo os símbolos em padrões com os quais têm familiaridade, tratando-os como objetos concretos, sem raciocinar algebricamente e sem demonstrar entendimento conceitual do que estão fazendo. MOREIRA & BORGES (2004) também observaram tal forma de manipulação de símbolos como objetos concretos em estudantes de ensino médio. Estudos com estudantes dos primeiros semestres do ensino de graduação americano têm revelado que uma concepção muito comum entre os alunos, é a inexistência de forças entre objetos inanimados, relativamente rígidos e que não estão em movimento. Portanto, o



elemento central que são as forças entre partes de máquinas e estruturas, não é visto como real (DÓLLAR & STEIF, 2004).

Voltando a citar NAKAO e GRIMONI (2006), eles ponderam que no caso dos cursos de Engenharia, pode-se afirmar que os alunos que ingressam na EPUSP – Escola Politécnica da USP – estão bem preparados para participar de um processo seletivo como o vestibular promovido pela Fundação para o Vestibular da Universidade de São Paulo, mas será que estão preparados para cursar a EPUSP? Quais são as competências desses ingressantes?

MAIA & BORGES (2005) analisaram dados de desempenho dos alunos da Engenharia Civil e da Engenharia Mecânica da UFMG no Exame Nacional de Cursos (ENC-Provão, 1996-2003). Foram extraídas algumas questões nas quais o estudante necessitava manipular conceitos básicos, questões meramente procedimentais ou analíticas e questões que apresentavam as duas características. Apesar do desempenho geral ser muito baixo, verificou-se que os estudantes se saem melhor nas questões mais operacionais e numéricas do que nas questões mais conceituais. Esse resultado é importante por revelar que o ensino da matéria estruturas não tem conseguido favorecer a aprendizagem conceitual. Por outro lado, não se pode deixar de notar e chamar a atenção de que as provas do ENC se dão alguma indicação, não permite explorar com maior profundidade o entendimento conceitual e o estado de conhecimento dos estudantes.

A atividade principal do engenheiro estrutural é projetar. Especificamente projetar estruturas para atender as necessidades do ser humano melhorando a sua qualidade de vida. Projetar estruturas significa também manter uma forma. É, portanto, um processo complexo sendo muitas vezes dividido em etapas (WEST, 1980).

A palavra estrutura descreve muitas coisas vistas na natureza e ao nosso redor. Plantas, desde árvores a simples folhagens, e animais são recipientes de uma forma estrutural que suportam suas necessidades. Além disso, muitas das espécies animais irracionais tem uma participação ativa na construção de estruturas indispensáveis para o seu viver. Embora algumas dessas estruturas como no caso das conchas ou como no caso das tocas construídas pelos castores sejam bastante requintadas, evidências demonstram que esses seres vivos as constroem por instinto e não por projeto, como os seres humanos (WEST, 1980).

Para os seres humanos, projeto estrutural, de acordo com SALMON & JOHNSON (1980), pode ser entendido como uma mistura de arte e ciência, combinando a intuição do engenheiro experiente sobre o comportamento de uma estrutura com o conhecimento sólido dos princípios de estática, dinâmica, resistência dos materiais e análise estrutural de modo a projetar uma estrutura segura e econômica que atenda a seus propósitos de utilização.

Assim, no processo de projeto, os engenheiros estruturais procuram estabelecer primeiro o melhor delineamento da forma estrutural, as solicitações, o material e as dimensões globais. Procuram entender qualitativamente o comportamento global da estrutura para definir o modelo de análise. Este conhecimento será altamente relevante na aceitação ou não dos resultados encontrados no modelo de análise na fase quantitativa do projeto.

Isto quer dizer que a concepção de uma idéia estrutural é anterior ao uso de métodos quantitativos. Somente depois que o sistema estrutural estiver concebido em seus elementos essenciais, são aplicados métodos de análise estrutural para avaliar o modelo idealizado, dimensionando os seus componentes e garantindo desse modo os requisitos que uma estrutura deve satisfazer: equilíbrio, estabilidade, resistência, durabilidade, segurança, economia e estética (SALVADORI & HELLER, 1963).

Os parágrafos anteriores condensam, a meu ver, os aspectos fulcrais da profissão do Engenheiro de Estruturas. É importante frisar que os alunos de graduação deveriam vivenciar simultaneamente estes aspectos quando cursam as disciplinas que compõem o Núcleo de Conteúdos Específicos (Tabela 3.2).

### **3.5 – Os Sujeitos Participantes**

Os participantes desta investigação são alunos de 01 turma da disciplina Estruturas de Concreto Armado II. São 42 alunos que terminaram as disciplinas que compõem os Núcleos de Conteúdos Básicos e Profissionalizantes e ingressam no Núcleo de Conteúdos Específicos (Tabela 3.2).

A amostra estudada é descrita por dois perfis. O primeiro perfil é descrito por características pessoais como faixa etária e gênero e dados sobre a forma de ingresso na

Escola de Engenharia, o ano e semestre de entrada. O segundo perfil condensa parâmetros da vida acadêmica.

O primeiro perfil está apresentado na Tabela 3.3. Vê-se que a amostra é também formada por alunos que ingressaram na escola através de modalidades outras que o vestibular. Como o ingresso nesta escola é por semestre, mostra-se o número de alunos por semestre de entrada, independente do ano de entrada. Nota-se que o número de estudantes do gênero masculino é bem superior aos do gênero feminino para esta amostra.

**Tabela 3.3 – Características dos Alunos.**

FAIXA ETÁRIA	NÚMERO DE ALUNOS	MODALIDADE DE INGRESSO	NÚMERO DE ALUNOS	ANO DE ENTRADA	NÚMERO DE ALUNOS	SEMESTRE DE ENTRADA	NÚMERO DE ALUNOS	GÊNERO	NÚMERO DE ALUNOS
21-25	24	VESTIBULAR	35	1999	1	1 <sup>o</sup>	24	M	35
26-30	14	OBTENÇÃO DE NOVO TÍTULO	1	2000	2	2 <sup>o</sup>	18	F	7
31-35	1	TRANSFERÊNCIA	6	2001	5				
36-40	2			2002	9				
41-44	1			2003	11				
				2004	9				
				2005	3				
				2006	2				

O segundo perfil (Tabela 3.4) foi desenhado com as médias e desvios padrão de alguns parâmetros da vida acadêmica dos sujeitos estudados.

**Tabela 3.4 – Parâmetros da Vida Acadêmica.**

	RSG	FREQÜÊNCIA	PCM	PCA	RDE
MÉDIA	2,44	1,17	102,26	80,0	4
DESVIO PADRÃO	0,52	1,53	27,56	7,64	3

O primeiro parâmetro é o RSG (Rendimento Semestral Global). O RSG é a média ponderada do desempenho acadêmico do aluno em cada semestre. Para o seu cálculo, convertem-se os conceitos obtidos em cada disciplina em valores, observando-se a correspondência apresentada na Tabela 3.5. Os conceitos E e F correspondem à situação de reprovação (Cf. Tabela 4.2). O valor do conceito de cada atividade em que o aluno se matriculou no semestre, excluídas os trancamentos, é multiplicado pelo seu respectivo número de créditos. Os produtos assim obtidos são somados e o resultado é dividido pelo número total de créditos em que o aluno se matriculou no semestre.

**Tabela 3.5** – Correspondências entre conceitos e categorias.

CONCEITO	CATEGORIAS
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1
F	0

O parâmetro Frequência é a média do número de faltas nas 60 horas/aula ou 15 dias da disciplina Estruturas de Concreto II.

O parâmetro PCM é a soma dos créditos das disciplinas matriculadas pelo sujeito até o semestre da investigação, sendo da matéria Estruturas ou não. Para a integralização curricular do curso de Engenharia Civil é necessária a aprovação de 250 créditos, que correspondem a uma carga horária total de 3570 horas/aula.

O parâmetro PCA é a média do aproveitamento de cada sujeito nas disciplinas de Estruturas cursadas até o semestre da investigação.

O parâmetro RDE é o número de reprovações de cada sujeito nas disciplinas de Estruturas cursadas até chegar à disciplina de Estruturas de Concreto II.

E finalmente, os alunos não sabiam da pesquisa até uma semana antes da terceira prova, quando foi pedido a cada um deles a concordância para a utilização das memórias (respostas) das provas, através de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Cópia deste termo encontra-se no Anexo 7.

Neste capítulo apresentar o cenário da pesquisa através dos tópicos abordados teve como primeiro objetivo descrever a IES através da organização do currículo de Engenharia Civil. Esta organização foi um fator determinante na escolha de uma das disciplinas para a coleta de dados. E conseqüentemente definiu também a amostra.

Por sua vez, a descrição do Engenheiro de Estruturas mostra que as diversas competências necessárias ao exercício da profissão são formadas por diversos conteúdos, que estão distribuídos ao longo do curso e que precisam ser interligados.

Finalmente, até onde averigüei, a pesquisa em Educação em Engenharia no Brasil é inexistente. Portanto, até onde sei, este estudo pode ser considerado como inédito, pelo menos no âmbito da IES onde este estudo foi desenvolvido.

## 4 – FONTES DE DADOS

As fontes de dados para esta pesquisa incluem as memórias das questões de Provas comuns às disciplinas da matéria Estruturas, as notas dos Trabalhos Práticos, Registros Acadêmicos e o questionário sócio-econômico respondido pelos alunos à época do vestibular.

Cópias das memórias das Provas foram feitas e guardadas até a última semana de aula da disciplina quando os 42 alunos tomaram conhecimento da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 7). O procedimento de análise das Provas só começou após a assinatura deste Termo.

As notas dos Trabalhos Práticos foram fornecidas pelo professor: neste conjunto 3 alunos não tiveram nota. A Frequência apurada pelo professor foi outro dado disponível, também com 3 alunos faltantes.

Os registros acadêmicos dos 42 sujeitos abrangem as notas e os conceitos correspondentes e a carga horária de todas as disciplinas cursadas até o semestre anterior ao estudado.

Os registros acadêmicos da IES constam de tabelas, para cada uma das disciplinas que compõem a matéria Estrutura, que registram as frequências observadas em cada conceito em 11 semestres anteriores a este estudo (Anexo 5.1).

### 4.1 – Provas

A Tabela 4.1 mostra a distribuição das Provas nas 33 aulas da Disciplina de Estruturas de Concreto II e o número de alunos que compareceram em cada uma delas. Na primeira prova faltaram 6 estudantes, na segunda 3 e na terceira não houve alunos faltosos.

**Tabela 4.1** — Métrica das provas e número de alunos presentes.

PROVA	AULA NÚMERO	NÚMERO DE ALUNOS PRESENTES NA PROVA
1	12	36
2	25	39
3	33	42

A escolha desta disciplina será justificada no Capítulo 6.

A metodologia de transformação das memórias das questões das provas em dados para análise está descrita no Capítulo 6.

## **4.2 – Construção dos Preditores de Desenvolvimento**

Como foi discutido no Capítulo 2, utilizar-se-á a Análise Longitudinal Hierárquica para obtermos uma descrição das trajetórias de desenvolvimento de competências através de uma equação estatística. Esta equação resume os parâmetros ponto de partida e forma da curva seguida pelo construto de interesse que foi medido várias vezes em cada sujeito. Tem-se então uma descrição de cada participante. E mais, esta equação permite determinar a variação dos dois parâmetros em função de uma ou mais variáveis correlatas ou preditoras que são utilizadas para diferenciar os indivíduos. Ou seja, elas podem ajustar melhor o modelo aos dados.

Os preditores utilizados nesta pesquisa são variáveis dicotômicas (0/1). São oriundos de transformações adequadas aplicadas às notas dos Trabalhos Práticos, Registros Acadêmicos e o questionário sócio-econômico. Destas transformações derivam indicadores que se relacionam com a história de vida acadêmica passada e atual dos sujeitos participantes da pesquisa.

Os itens a seguir descrevem como os preditores foram construídos a partir da categorização dicotômica dos indicadores.

### **4.2.1 – Indicador de História de Engajamento**

Um possível correlato é o engajamento escolar. Uma das maneiras de medi-lo é através de um indicador do envolvimento do estudante com os trabalhos escolares (FREDRICKS *et al.*, 2004).

O indicador de História de Engajamento foi criado a partir das notas dos oito Trabalhos Práticos realizados em sala de aula. Inicialmente as notas fornecidas pelo professor foram transformadas em categorias relacionadas segundo os limites de conceitos acadêmicos, resumidos na Tabela 4.2.

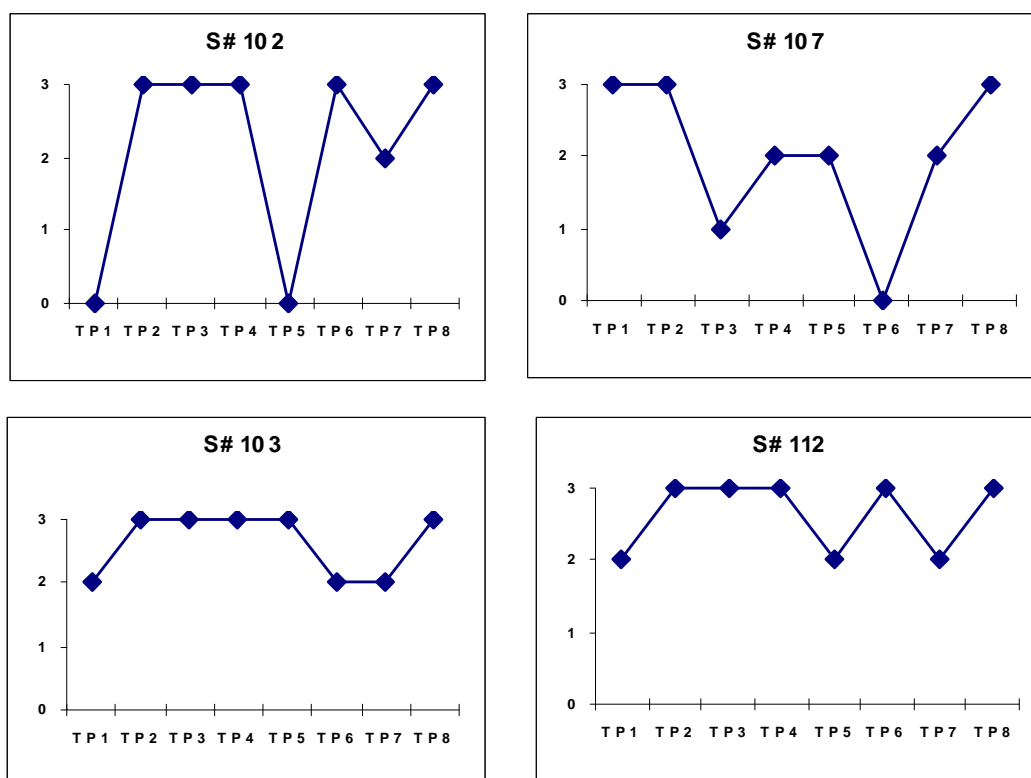
**Tabela 4.2.** — Correspondências entre conceito, nota e categorias.

CONCEITO	NOTA	CATEGORIAS
A	90-100	3
B	80-89	2
C	70-79	
D	60-69	
E	40-59	1
F	0-39	0

Em seguida, esboçou-se a trajetória destes conceitos para todos os alunos. Quatro delas estão mostradas na Figura 4.1.

Aplicou-se a estas trajetórias a categorização criada por YAN (2000). Ele denominou as trajetórias obtidas no seu estudo de estáveis, oscilatórias e complexas em função do número de mudanças de nível de performance durante atividades realizadas em um curso de estatística da Universidade de Harvard.

Neste estudo, só encontramos, casos de trajetórias oscilatórias e complexas. Nos casos da Figura 4.1, as trajetórias S#102 e S#107 são complexas e as trajetórias S#103 e S#112 são oscilatórias.

**Figura 4.1** – Trajetórias dos conceitos dos trabalhos práticos.



Esta categorização foi posteriormente transformada em dados dicotômicos, ou seja, à trajetória oscilatória foi associado o valor 0 e à trajetória complexa o valor 1. A este preditor foi dado o nome de Cengaj.

#### 4.2.2 – Indicador de História de Aprovação

O indicador de História de Aprovação foi criado aplicando-se duas transformações ao rendimento escolar obtido nas disciplinas da matéria de Estruturas (Anexo 1) convertido em conceito (Tabela 4.3). A primeira transformação foi o cálculo da média. Esta média foi comparada com o valor 2.5. Se a média dos conceitos é menor, então o preditor CCAE (Categorização dos Conceitos de Aprovação em Estruturas) recebeu o valor 0. Caso contrário, CCAE recebeu o valor 1.

**Tabela 4.3** - Correspondência entre conceito e categorias.

CONCEITO	CATEGORIAS
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1
F	0

#### 4.2.3 – Indicador de História do Rendimento Semestral Global

O indicador de História do Rendimento Semestral Global reflete o desempenho global no curso enquanto que os indicadores anteriores estão circunscritos no contexto das disciplinas da matéria de Estruturas.

O dado bruto para o indicador de História do Rendimento Semestral Global é a média ponderada do desempenho acadêmico do aluno em cada semestre. Para a construção do indicador foram considerados 8 semestres anteriores a este estudo. Esta escolha será justificada no Capítulo 6.

Se o Rendimento Semestral Global obtido por cada estudante em cada semestre é menor que a média do RSG no semestre, ao preditor CRSG (Categoria do Rendimento Semestral Global) foi associado o valor 0. Caso contrário ( $RSG > \text{média RGE}$ ) o preditor CRSG assume o valor 1.

#### **4.2.4 – Indicador de Frequência na Disciplina Estruturas de Concreto Armado II**

O indicador de Frequência na Disciplina Estruturas de Concreto Armado II foi construído em 3 ocasiões determinadas pelos intervalos entre as provas. Em cada ocasião foi calculada a proporção entre o número acumulado de faltas e de aulas.

Ao preditor correspondente CFreq foi associado o valor 1 quando o número acumulado de faltas, em cada ocasião, estava dentro dos 25% previstos nas normas acadêmicas da IES. Quando o número de faltas excedia este limite, CFreq assumia o valor 0.

#### **4.2.5 – Indicador de Pressão para Aprovação**

O Indicador de Pressão para Aprovação (Npa) é qualitativo. Ele varia entre as três ocasiões de mensuração. Do início do curso até a primeira prova, o aluno não está pressionado, pois ainda não perdeu nenhum ponto e pode alcançar a nota máxima. Entre a primeira prova e a segunda, os alunos que obtiveram mais de 60% do valor da primeira prova estão tranquilos e não sofrem pressão adicional para conseguir a aprovação (Npa = 0). Os que obtiveram nota menor que 60% na primeira ocasião por sua vez sentem-se pressionados a ter um desempenho melhor, caso almejem a aprovação na disciplina: estão pressionados (Npa=1). Na terceira ocasião, ou seja, entre a segunda e terceira prova, o critério é o mesmo, mas a categorização usa o resultado das duas avaliações anteriores.

#### **4.2.6 – Indicador da Faixa Etária Regular**

Este indicador captura uma trajetória escolar irregular ou regular anterior à universidade. Irregular é aquela em que o aluno sofre várias reprovações ou deixa de estudar, que se reflete no descompasso entre a sua idade e a idade regular dos alunos da terceira série do ensino médio. É um entendimento comum entre educadores que atuam na educação básica que um aluno com mais de 2 anos de atraso está fora da sua faixa normal de idade. Um aluno que entrava aos 7 anos na 1ª série, deveria ter 17 anos na 3ª série do ensino médio. Adicionando dois anos a esta idade e uma possível reprovação no vestibular, podemos adotar que a aprovação no vestibular até os vinte anos de idade indica um

estudante com trajetória regular. Como o curso de Engenharia Civil tem duração de 5 anos, um estudante com trajetória regular formaria com 25 anos.

Portanto, o preditor C\_idade categoriza os estudantes com valor 1 se sua idade na época deste estudo era maior que 24 anos e 0 se sua idade era menor ou igual a 24 anos.

#### **4.2.7 – Indicador da História da Matéria Matemática**

O indicador da História da Matéria Matemática é o resultado normalizado da soma dos conceitos dos estudantes nas 5 disciplinas<sup>2</sup> da matéria matemática.

O preditor Cal assume o valor 1 quando o escore normalizado é positivo e 0 quando o escore normalizado é negativo.

#### **4.2.8 – Indicador da Faixa Sócio-Econômica**

A posição sócio-econômica dos estudantes é classificada como pertencente às Classes A a E no questionário sócio-econômico preenchido por ocasião do vestibular.

Na amostra deste estudo a maior parte dos estudantes estão classificados nas classes A e B. Por esta razão, o preditor F\_ECON foi construído associando o valor 1 para as classe A e B e o valor 0 para as demais classes.

#### **4.2.9 – Indicador do Ensino Médio**

Onde o aluno fez integralmente, ou em sua maior parte, o Ensino Médio foi um indicador extraído do questionário sócio-econômico preenchido pelo estudante quando prestou o exame de vestibular. As opções possíveis eram Escola particular e Escola pública, estadual, municipal e federal.

O preditor EM\_ME foi construído adotando dois resultados: para a escola particular o valor associado foi 1 e para a escola pública, independente da sua filiação, o valor 0.

---

<sup>2</sup> Geometria Analítica, Cálculo Diferencial e Integral I, II e III e Equações Diferenciais A.

#### 4.2.10 – Indicadores de Motivação

O indicador da motivação foi construído olhando o item Motivo principal da escolha do curso, constante do questionário sócio-econômico preenchido pelo estudante quando prestou o exame de vestibular. As escolhas possíveis estão apresentadas no Quadro 4.1:

1. RELEVÂNCIA SOCIAL DA PROFISSÃO
2. POSSIBILIDADE DE INSERÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO
3. PRESTÍGIO SOCIAL DA PROFISSÃO
4. INFLUÊNCIA DA FAMÍLIA E/OU TERCEIROS
5. FACILIDADE DE APROVAÇÃO NO VESTIBULAR (BAIXA RELAÇÃO CANDIDATO VAGA)
6. OUTRO
7. INTERESSE PELA ÁREA

**Quadro 4. 1** – Motivo principal da escolha do curso: questionário sócio –econômico.

Uma simples contagem revelou que as alternativas (2) e (7) eram as mais relevantes.

Deste resultado, dois preditores foram criados: o preditor MOT\_2 referente à escolha (2) e o preditor MOT\_7 referente à escolha (7).

A ambos preditores foi associado o valor 1 para indicar a presença da escolha e zero para indicar a escolha de outro fator de motivação.

#### 4.2.11 – Indicadores de Desempenho no Vestibular

Os indicadores de desempenho no vestibular em Matemática e Física foram criados a partir da soma das notas das provas (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> etapa) respectivamente.

Como os valores são diferentes entre as etapas (15 e 100), os valores foram transformados em porcentagens antes de obter-se a soma.

Os preditores dicotômicos MAT\_V (nota no vestibular de matemática) e FIS\_V (nota no vestibular de física) assumiram o valor 1 quando a soma das respectivas notas era maior que 60% do escore total possível. Caso contrário, o valor 0 é atribuído aos preditores.

#### **4.2.12 – Preditor do Início dos Estudos da Matéria Estruturas**

As disciplinas da matéria Estruturas iniciam a partir do 4º período do Curso de Engenharia Civil (cf. Anexo 1). Esta ocasião foi marcada através da construção de um preditor que possui o valor 0 até que seja noticiada a presença da primeira disciplina. A partir desta ocasião o valor passa a ser 1.

#### **4.2.13 – Preditor da Forma de Ingresso no Curso**

As formas de ingresso no Curso de Engenharia são três: vestibular, transferência e obtenção de novo título.

Ao preditor Vest foi associado o valor 1 quando a forma de ingresso se dá pelo vestibular e o valor 0 quando o ingresso é pela outras duas formas.

#### **4.2.14 – Preditor do Semestre de Entrada no Curso**

A IES em foco realiza apenas um vestibular, mas divide os aprovados em duas turmas.

Ao preditor Sem foi atribuído o valor 1 para os ingressos no primeiro semestre e o valor 0 para os ingressos no segundo semestre.

### **4.3 – Resumo dos Preditores**

A Tabela 4.4 resume os preditores construídos para serem utilizados na análise longitudinal hierárquica:

Tabela 4.4 – Preditores.

<b>TEMPO</b>	<b>NÚMERO DA AULA EM QUE SE DEU A AVALIAÇÃO, MENSURADO EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AULAS DADAS.</b>
<b>T2</b>	<b>QUADRADO DA VARIÁVEL TEMPO.</b>
<b>OCASIAO</b>	<b>OCASIÃO EM QUE SE DEU A MEDIDA DO CONSTRUTO.</b>
<b>OEE</b>	<b>SE NA OCASIÃO JÁ HAVIA INICIADO O ESTUDO DA MATÉRIA ESTRUTURA ENTÃO OEE=1; CASO CONTRÁRIO OEE = 0.</b>
<b>CRSG</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DO RSG. EM CADA SEMESTRE, SE RSG &gt; MÉDIA DO RSG NO SEMESTRE ENTÃO CRSG = 1, CASO CONTRÁRIO CRSG = 0.</b>
<b>CRSG7</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DE CRSG NA OCASIÃO 7.</b>
<b>CFREQ</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DA FREQUÊNCIA.</b>
<b>NPA</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DA PRESSÃO PARA APROVAÇÃO.</b>
<b>CENGAJ</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DO ENGAJAMENTO: COMPLEXA = 1 OSCILATÓRIA = 0</b>
<b>CCAE</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DA HISTORIA DE APROVAÇÃO EM ESTRUTURAS: MÉDIA DOS CONCEITOS &gt; 2.5 = 1 E &lt; 2.5 = 0.</b>
<b>CAL</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM CÁLCULO EM DUAS CATEGORIAS.</b>
<b>GEN</b>	<b>GÊNERO: MASCULINO = 0; FEMININO =1.</b>
<b>C_IDADE</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DA FAIXA ETÁRIA REGULAR. SE FAIXA ETÁRIA &gt; 24 ENTÃO C_IDADE = 1 CASO CONTRÁRIO C_IDADE = 0.</b>
<b>SEM</b>	<b>SEMESTRE DE ENTRADA NO CURSO.</b>
<b>VEST</b>	<b>FORMA DE ENTRADA NO CURSO.</b>
<b>F_ECON</b>	<b>FAIXA ECONÔMICA.</b>
<b>EN_ME</b>	<b>ENSINO MÉDIO.</b>
<b>MOT_2</b>	<b>POSSIBILIDADE DE INSERÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO.</b>
<b>MOT_7</b>	<b>INTERESSE PELA ÁREA.</b>
<b>MAT_V</b>	<b>NOTA NO VESTIBULAR DE MATEMÁTICA.</b>
<b>FIS_V</b>	<b>NOTA NO VESTIBULAR DE FÍSICA.</b>

Este capítulo foi dedicado a descrever as fontes de dados deste estudo: as memórias das questões das provas comuns às disciplinas da matéria Estruturas, as notas dos trabalhos práticos, registros acadêmicos e o questionário sócio-econômico respondido pelos alunos à época do vestibular.

Foi descrita também a construção de vários indicadores que contam a história da vida acadêmica passada e atual dos sujeitos participantes da pesquisa. Cada indicador deu origem a um preditor dicotômico. Estes preditores serão utilizados na análise hierárquica com o objetivo de ajustar e explicar as trajetórias de desenvolvimento das competências estimadas pelo modelo.

## **5 – RESULTADOS — PARTE I**

### **5.1 – Introdução**

O objetivo deste capítulo é relatar como os dados obtidos a partir dos registros acadêmicos – histórico escolar e questionário sócio-econômico – dos estudantes foram modelados e analisados para responder a primeira questão de pesquisa:

*Como os alunos graduandos de Engenharia Civil aprendem as disciplinas da matéria Estruturas?*

Os dados obtidos a partir do histórico escolar que são relativos às disciplinas da matéria Estruturas foram ajustados ao modelo de Resposta Graduada Politômica (Rasch Rating scale). A escala resultante permitiu medir o construto denominado Competência Geral na Matéria Estruturas. Pode-se, então, analisar a evolução temporal média da Competência Geral na Matéria Estruturas.

As medidas da Competência Geral na Matéria Estruturas associadas a outras variáveis descritoras também construídas com informações do histórico escolar e do questionário sócio-econômico foram ajustadas ao modelo longitudinal hierárquico de 2 níveis. Obteve-se, então, um refinamento da evolução, uma vez que, o modelo hierárquico possibilita a definição de parâmetros que possam explicar tanto a evolução média quanto a evolução de cada um dos participantes.

O Rendimento Semestral Global (RSG) foi o outro conjunto de dados longitudinais modelados hierarquicamente. Obteve-se a evolução dos alunos no conjunto de todas as disciplinas das diversas matérias que compõem o Curso de Engenharia Civil.

### **5.2 – Como os alunos graduandos de Engenharia Civil aprendem as disciplinas da matéria Estruturas?**

A construção de uma escala de medida que compare os conceitos acadêmicos alcançados nas disciplinas da matéria Estruturas pelos participantes deste estudo ao longo da sua vida acadêmica pode fornecer evidências para descrever tendências crescentes ou decrescentes da aprendizagem das disciplinas da matéria Estruturas. Esta escala deve ser ampla para abrigar os múltiplos conteúdos ensinados nas sete disciplinas integrantes do

currículo mínimo cursadas anteriormente a este estudo. Por esta razão, o construto a ser medido foi denominado Competência Geral na Matéria Estruturas (CGME).

Para que estes conceitos sejam dados válidos para a construção de uma escala é necessário que eles, embora tenham a mesma denominação, designem uma mesma qualidade, i.e., que eles sejam equivalentes. Por equivalência entendo que não há diferença estatisticamente relevante entre os conceitos atribuídos pelos diversos professores que lecionam cada uma das disciplinas da matéria Estruturas em um mesmo semestre ou em semestres diferentes em uma mesma disciplina.

Esta equivalência entre os conceitos atribuídos pelos professores das diversas disciplinas de estruturas foi investigada de duas formas. Na primeira delas examinei a validade dos dados. Examinei se em cada disciplina e em cada semestre há diferença estatisticamente significativa entre as frequências observadas dos conceitos atribuídos e a sua média histórica, conforme discutido na seqüência. A segunda forma de investigar a equivalência dos conceitos consistiu em buscar um ajuste razoável de um modelo Rasch de resposta graduada politômica aos dados. A existência de tal ajuste significa que os dados mensuram uma mesma dimensão latente. Desta forma os conceitos atribuídos pelos professores designam, em cada semestre e em cada disciplina, uma mesma qualidade e são indicadores manifestos de uma mesma dimensão latente.

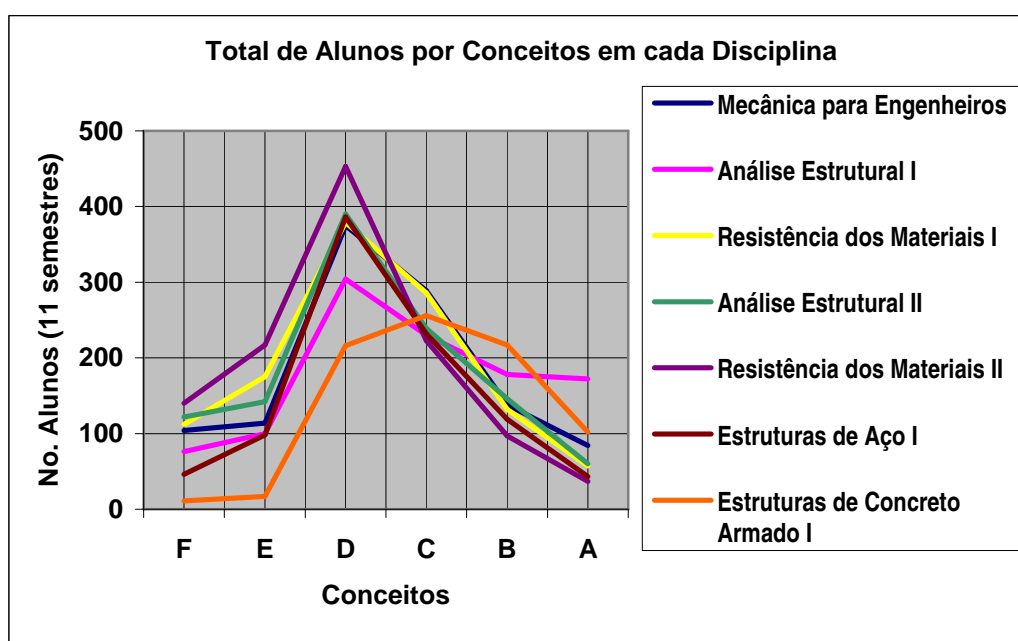
Para examinar a validade dos dados obtive a partir dos registros acadêmicos da IES tabelas descrevendo para cada uma das disciplinas que compõem a matéria Estruturas as frequências observadas em cada conceito, ou seja, as proporções de estudantes por conceito, nos 11 semestres imediatamente anteriores ao semestre que conduzi o estudo principal. As tabelas estão mostradas no Anexo 5.1. Em cada tabela do Anexo 5.1 estão mostradas as frequências observadas em cada um dos seis conceitos possíveis de serem atribuídos pelos professores. Entretanto, os conceitos E e F, correspondentes à reprovação, foram colapsados em uma única categoria C0 (Tabela 5.1). Isto foi feito porque nos dados que utilizaremos para analisar evolução da competência geral em estruturas não há distinção destes dois conceitos.



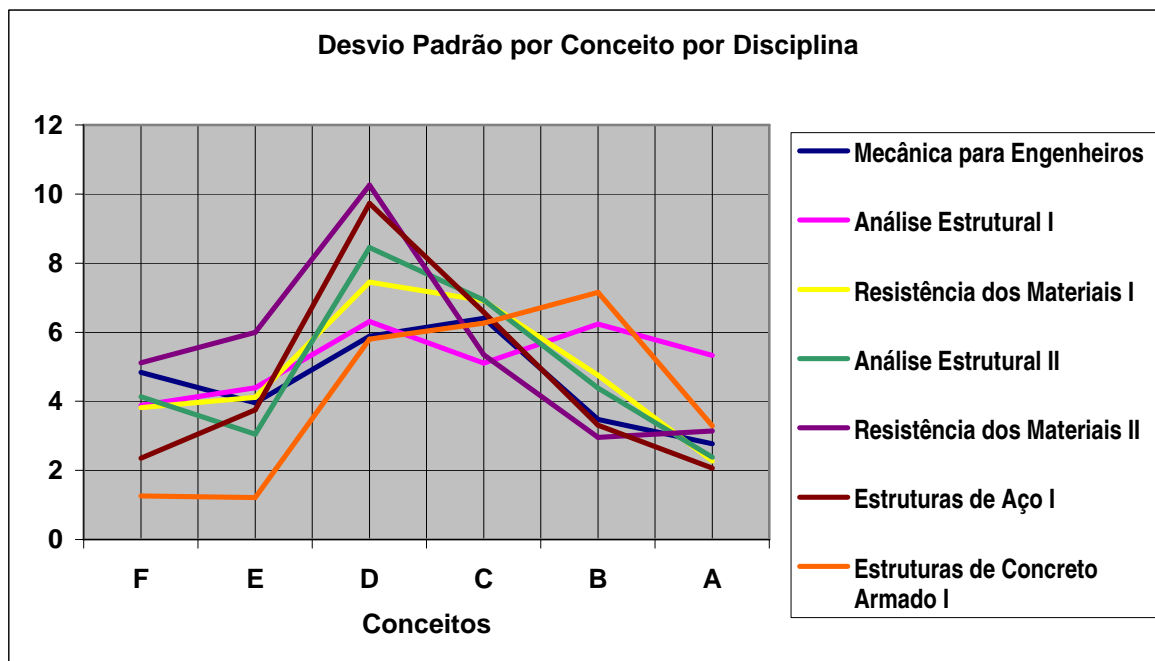
**Tabela 5.1** — Correspondências entre conceito, nota e categorias.

CONCEITO	NOTA	CATEGORIAS
A	90-100	C4
B	80-89	C3
C	70-79	C2
D	60-69	C1
E	40-59	C0
F	0-39	

No Gráfico 5.1(a) estão representados o total de alunos por conceito em cada disciplina nos 11 semestres anteriores e consecutivos ao estudo. A grande maioria dos alunos foi aprovada com conceito D (~43%). A disciplina que mais reprovou foi Resistência dos Materiais II. A disciplina que mais aprovou e com conceitos mais altos foi Estruturas de Concreto Armado I.

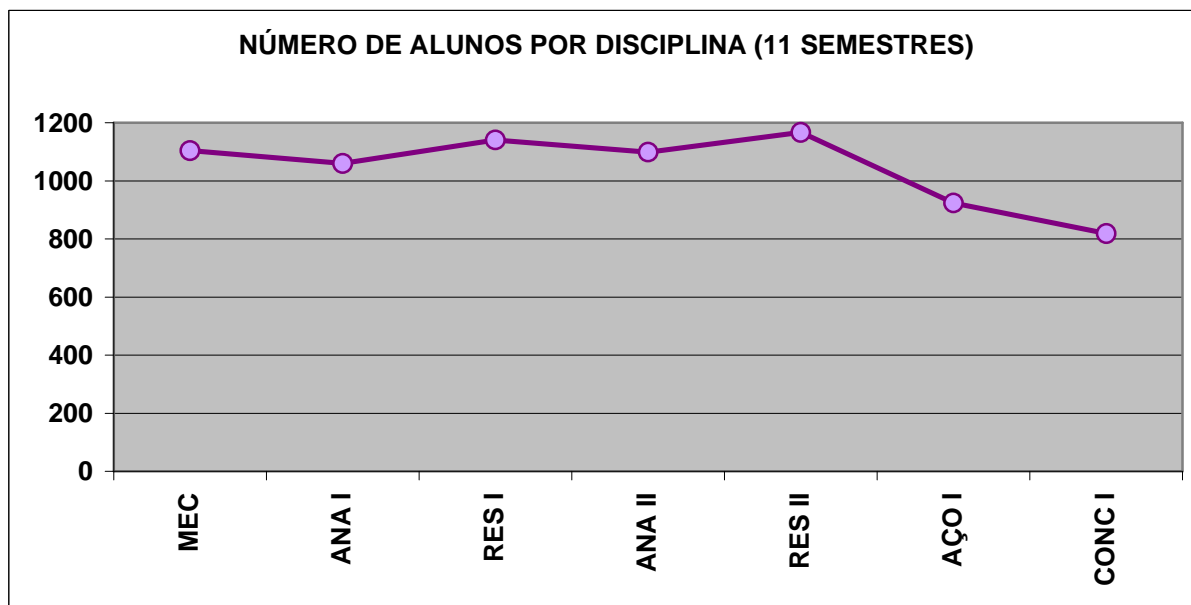
**Gráfico 5.1(a)** – Total de Alunos por Conceitos em cada disciplina em 11 semestres consecutivos.

O Gráfico 5.1(b) exibe o desvio padrão por conceito em cada disciplina nos 11 semestres anteriores e consecutivos ao estudo. A disciplina de Estruturas de Concreto Armado I possui maior dispersão no conceito B. Análise Estrutural I apresenta maior dispersão nos conceitos D e B. Nas demais a maior dispersão aparece no conceito D.



**Gráfico 5.1(b)** – Desvio Padrão por Conceitos em cada disciplina em 11 semestres consecutivos.

O Gráfico 5.1(c) mostra que a partir da Disciplina Resistência dos Materiais II o número de alunos reduz em média 16%. Nas demais disciplinas a oscilação em média é pequena ( $\sim \pm 6\%$ ).



**Gráfico 5.1(c)** – Número total de alunos por disciplina.

O Anexo 5.2 apresenta um sumário estatístico das frequências observadas em cada categoria e em cada disciplina

A validade dos dados foi examinada através de uma regressão linear aplicada às frequências observadas em cada conceito nas disciplinas da matéria Estruturas de 11 semestres anteriores ao deste estudo utilizando o software SPSS 16.0. O resultado de maior interesse da regressão linear é a estatística de teste F de ajuste do modelo linear aos dados, que está mostrada na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** – Estatística F de ajuste do modelo linear aos dados.

DISCIPLINA		CATEGORIAS DOS CONCEITOS				
		C0	C1	C2	C3	C4
MEC	Mecânica para Engenheiros	0.319	0.865	0.455	0.839	0.328
ANA I	Análise Estrutural I	0.083	0.017	0.025	0.096	0.255
RES I	Resistência dos Materiais I	0.053	0.799	0.621	0.063	0.901
ANA II	Análise Estrutural II	0.659	0.672	0.816	0.826	0.326
RES II	Resistência dos Materiais II	0.706	0.385	0.185	0.218	0.815
AÇO I	Estruturas de Aço I	0.098	0.643	0.448	0.879	0.791
CONC I	Estruturas de Concreto Armado I	0.460	0.981	0.423	0.656	0.648

Apenas na disciplina Análise Estrutural I parece haver uma tendência linear nas categorias de conceito C1 e C2. Nas demais não há tendência linear significativa, ou seja, nas demais disciplinas, prevalece o modelo constante. O valor esperado em qualquer semestre é a média histórica.

Para um exame mais minucioso deste resultado, as frequências observadas correspondentes às categorias C1 e C2 foram comparados semestre a semestre com a média histórica destas categorias. Aplicou-se o teste de significância da diferença de uma proporção nas frequências observadas nas categorias C1 e C2. A frequência observada na categoria C1 difere da média histórica de estudantes na categoria C1 no nível de significância de 0.05, nos 1<sup>o</sup> e 9<sup>o</sup> semestres anteriores a este estudo. A frequência observada na categoria C2 difere da média histórica de estudantes na categoria C2 no nível de significância de 0.05, no 10<sup>o</sup> semestre anterior a este estudo.

Obviamente, os estudantes participantes não cursaram a disciplina Análise Estrutural I no 1<sup>o</sup> semestre anterior ao estudo (cf. com Anexo1). Além disto, para obtermos uma matriz de dados menos esparsa, decidiu-se trabalhar com 8 semestres anteriores ao do estudo, uma vez que a amostra estudada está cursando disciplinas da matéria Estruturas que correspondem ao 8<sup>o</sup> período de integralização do curso.

Desta forma, as discrepâncias encontradas nos períodos citados da disciplina Análise Estrutural I não invalidam a evidência histórica de que as categorias de conceitos atribuídos por professores diferentes em cada uma das disciplinas da matéria estruturas são categorias equivalentes.

O resultado anterior é uma importante evidência de que podemos considerar, em cada disciplina, que a categorização dos conceitos é um processo estável ao longo dos semestres. Desta forma, podemos considerar que em cada disciplina o significado dos conceitos atribuídos aos estudantes também é estável, refletindo um mesmo grau de desempenho esperado.

Resta examinar se tais conceitos podem ser tomados como indicadores manifestos de uma variável não observável característica de cada estudante e cujo valor assumido em cada semestre explica o conceito alcançado pelo estudante. Este é essencialmente um teste da unidimensionalidade da variável latente mensurada pelos conceitos atribuídos aos estudantes. Como tal variável latente explica o desempenho em todas as disciplinas da matéria Estruturas, ela mensura uma competência bem geral, associada à matéria Estruturas, porém é distinta das competências específicas desenvolvidas em cada disciplina.

O ajuste de um modelo Rasch de resposta graduada politômica, também conhecido como modelo de Andrich, permite examinar a unidimensionalidade do construto Competência Geral na Matéria Estruturas (CGME) bem como construir a escala que mensura este construto. Como em todos os modelos da família de modelos Rasch os parâmetros dos sujeitos são separáveis dos parâmetros dos itens. Além disto, existem estatísticas suficientes para se determinar tanto os parâmetros das pessoas quanto os parâmetros dos itens (ANDRICH, 2010). Neste modelo cada sujeito é caracterizado por um único parâmetro com uma relação monótona com o escore bruto do sujeito. Este funciona como a estatística suficiente do parâmetro dos sujeitos. Já os itens são caracterizados por dois parâmetros. Cada item tem a sua dificuldade e todos os itens compartilham o mesmo conjunto de parâmetros de transições.

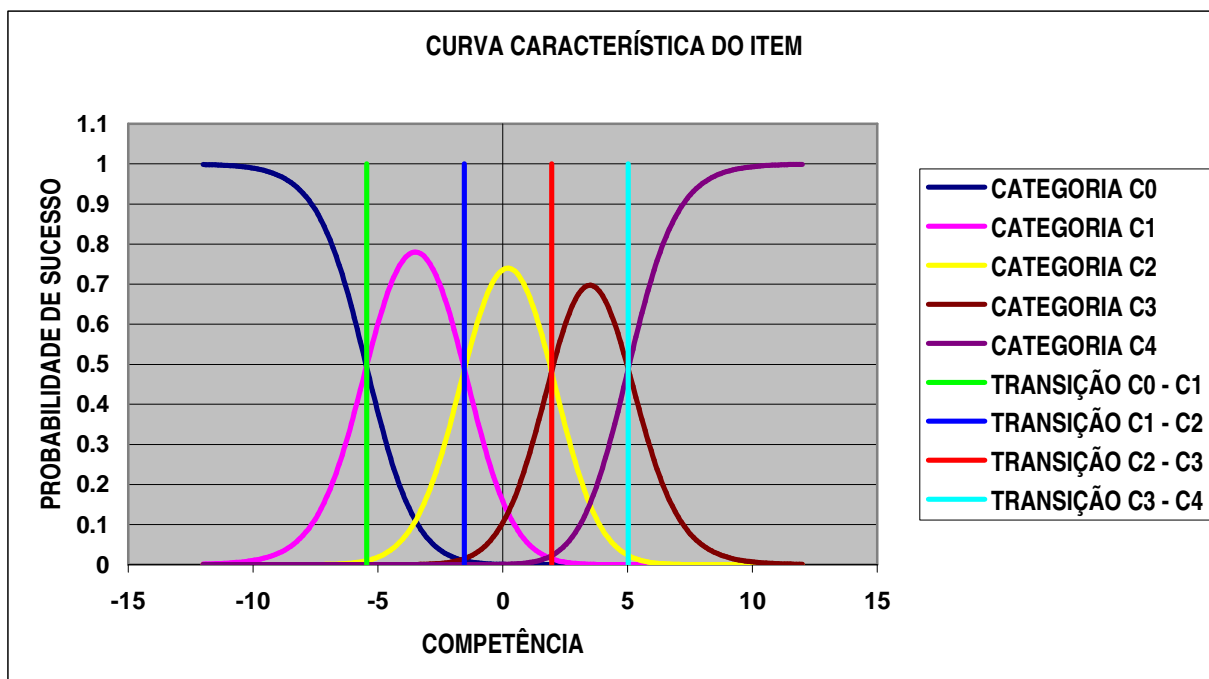
A dificuldade de um item corresponde ao grau da competência na qual há 50% de chance para uma pessoa com esta competência responder corretamente o item. Quando há a possibilidade de um item ter mais de uma resposta correta, como aqui, o contínuo que

mede a variável latente é dividido em  $m - 1$  intervalos, onde  $m$  é o número de categorias de respostas. Estes intervalos são delimitados pelo conjunto dos parâmetros de transições. São assim denominados por estarem entre duas categorias de respostas adjacentes. Eles podem ser entendidos, também, como o grau da dificuldade de se observar a presença das categorias.

Neste estudo, estas transições representam as medidas da Competência Geral na Matéria Estruturas nas quais há uma probabilidade de 50% de que o estudante com um grau de competência  $X$  alcançar uma das 5 categorias de conceito (Tabela 5.1).

O Gráfico 5.2 representa a curva característica do item (CCI) com mais de uma resposta possível. CCI são gráficos que relacionam as probabilidades de se obter a resposta correta de um item para um contínuo de valores de medida da variável latente.

Neste gráfico foram incluídas retas verticais que correspondem aos valores das transições. Curvas de categorias adjacentes e sua transição correspondente se interceptam em 50% de probabilidade de sucesso.



**Gráfico 5.2** – Curva Característica do Item e suas Transições.

Portanto, estudantes com competência inferior ao valor do parâmetro transição tem maior probabilidade de alcançar a categoria de menor grau, enquanto estudantes com competência superior tem maior probabilidade de atingir a categoria imediatamente acima.

A matriz dos conceitos atribuídos aos estudantes submetida ao ajuste pelo modelo Rasch de resposta graduada politômica pode ser visualizada como uma tabela de dupla entrada. As linhas são indexadas pelos sujeitos e pelas 8 ocasiões (semestres) e as colunas pelas disciplinas da matéria Estruturas com as respectivas categorias de conceito (cf. Tab. 5.1). Cada sujeito participante deste estudo terá 8 medidas da CGME, uma para cada ocasião em que cursou pelo menos uma das Disciplinas. A Tabela 5.3 representa a forma canônica de representação da estrutura de dados para cada sujeito.

**Tabela 5.3** – Formato dos dados para a construção da CGME.

sujeito	sem	MEC	ANA I	RES I	ANA II	RES II	AÇO I	CONC I
1	7	2						
1	6							
1	5		1	1				
1	4		1	3				
1	3		3					
1	2				3	1		
1	1					3		
1	0						3	3

Para a construção da escala da Competência Geral na Matéria Estruturas, os dados foram analisados pelo programa WINSTEPS® (LINACRE, 2009). Este programa fornece um conjunto de informações e estatísticas que permitem avaliar quão bem o modelo se ajusta aos dados.

Uma vez que o modelo Rasch é uma idéia teórica e dados empíricos são sempre imperfeitos, espera-se que um teste de ajuste global possa relatar uma inadequabilidade significativa sempre que houver dados suficientes para conferir ao teste este poder (Linacre, comunicação pessoal, 22/02/2010).

A Tabela 3.1 do WINSTEPS® descreve um destes testes: a estatística RMSE (*Root Mean Square standard Error*). RMSE é a raiz quadrada do erro médio da variância calculada para as medidas dos sujeitos (competências) e para as medidas dos itens (dificuldade). Esta estatística é composta de duas parcelas: Model RMSE e REAL RMSE. É desejável que os seus valores sejam aproximadamente iguais. Isto demonstra que divergência nos dados tem pouco efeito na precisão global das medidas (Linacre, comunicação pessoal, 22/02/2010).

Na Tabela 5.4 estão mostrados os valores para Model RMSE e REAL RMSE. A relação entre eles é de 87%, 90% (pessoas sem escores extremos e escores extremos e não extremos, respectivamente) e 91% para os itens.

**Tabela 5.4** – Estatísticas globais de ajuste da Escalas Rasch para CGME.

CGME	PESSOAS			ITENS		
	SEM ESCORES EXTREMOS <sup>a</sup>	REAL RMSE	1.85	SEM ESCORES EXTREMOS	REAL RMSE	0.31
MODEL RMSE		1.61	MODEL RMSE		0.30	
ESCORES EXTREMOS E NÃO EXTREMOS	REAL RMSE	1.90				
	MODEL RMSE	1.71				
CORRELAÇÃO ENTRE ESCORE E MEDIDA	0.55 <sup>b</sup>		CORRELAÇÃO ENTRE ESCORE E MEDIDA	0.58 <sup>b</sup>		
CRONBACK ALPHA K-20	0.0 <sup>b</sup>					
CORRELAÇÃO PEARSON	0.68		CORRELAÇÃO PEARSON	0.97		

<sup>a</sup>. Escores Extremos: são os mais altos ou mais baixos escores possíveis para os sujeitos ou para os itens (incluem zero e escores perfeitos).

<sup>b</sup>. Aproximados devido a dados faltantes

Outro parâmetro estatístico presente na Tabela 3.1 do WINSTEPS® é a Correlação de Pearson entre os escores e as medidas. Quando os dados estão completos o valor esperado é bem próximo de 1 para os sujeitos e de -1 para os itens. Neste quesito pode-se considerar que os dados se ajustam razoavelmente ao modelo devido à natureza muito esparsa da matriz de dados. Na Tabela 3.1 do WINSTEPS® aparece a nota b., alertando sobre esta característica para esta estrutura de dados.

Quanto ao quesito da unidimensionalidade, a Tabela 23 do WINSTEPS® forneceu os seguintes valores:

Table of STANDARDIZED RESIDUAL variance (in Eigenvalue units)		
	-- Empirical --	
Total raw variance in observations =	25.8	100.0%
Raw variance explained by measures =	17.8	69.0%
Raw variance explained by persons =	13.2	51.0%
Raw Variance explained by items =	4.6	18.0%
Raw unexplained variance (total) =	8.0	31.0%
Unexplned variance in 1st contrast =	2.0	7.7%
Unexplned variance in 2nd contrast =	1.7	6.6%
Unexplned variance in 3rd contrast =	1.7	6.4%
Unexplned variance in 4th contrast =	1.4	5.5%
Unexplned variance in 5th contrast =	0.8	3.1%

Como a variância não explicada no primeiro subdomínio (1st contrast) não é superior a 2 e proporcionalmente não é superior a 10.4%, o quesito da unidimensionalidade está satisfeito.

A última verificação, não menos importante, do ajuste do modelo, é a invariância dos itens. Ou seja, um item deve medir, entre ocasiões ou entre grupos de pessoas, apenas as diferenças entre medidas da mesma variável latente. Para testar o ajuste quanto à invariância, utilizar-se-á as curvas características dos itens (CCI). Estas curvas permitem a comparação entre escores observados e previstos, como em um teste Chi-quadrado (HAGQUIST, 2001).

Os Gráficos 5.3(a) @ 5.3(g) apresentam as ICC para cada uma das disciplinas da matéria Estruturas (os itens). Os escores observados são médias dos quatro grupos de estudantes em que amostra foi dividida e estão também representados.

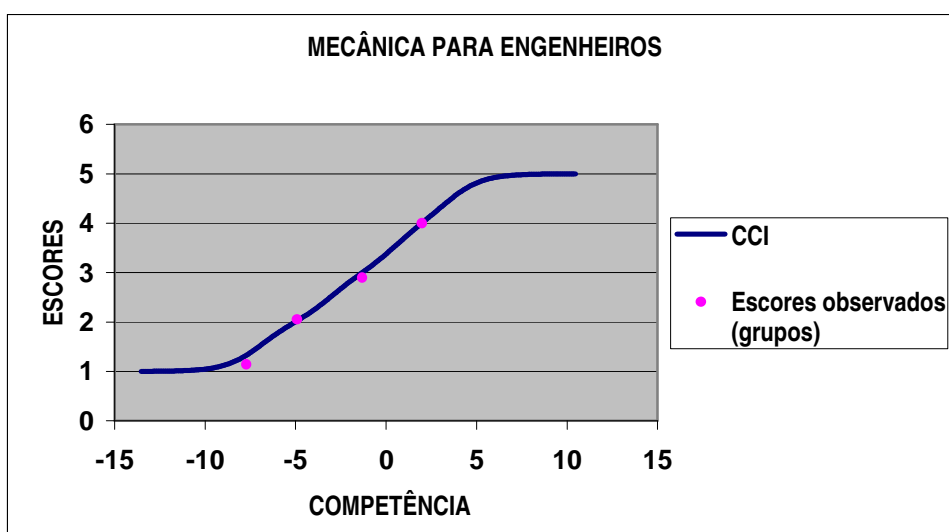


Gráfico 5.3 (a) – CCI – Mecânica para Engenheiros.

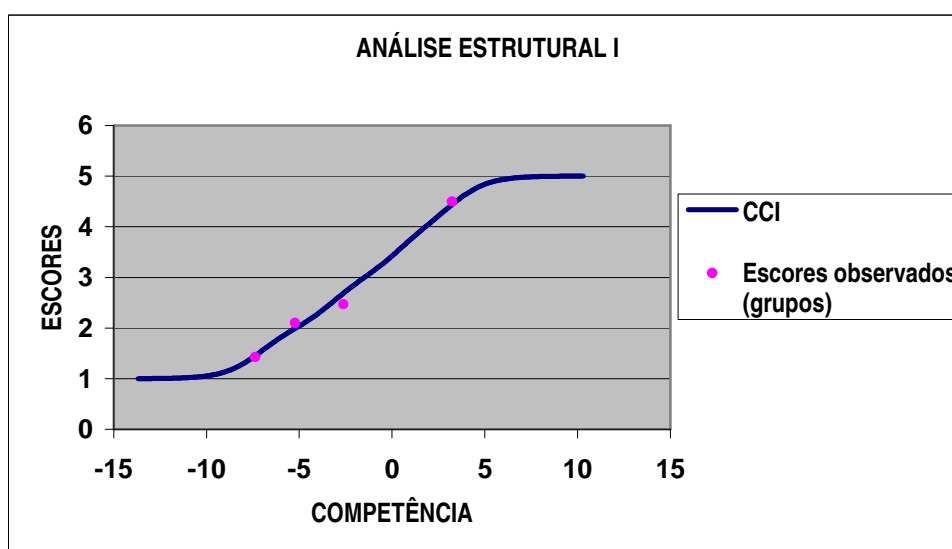
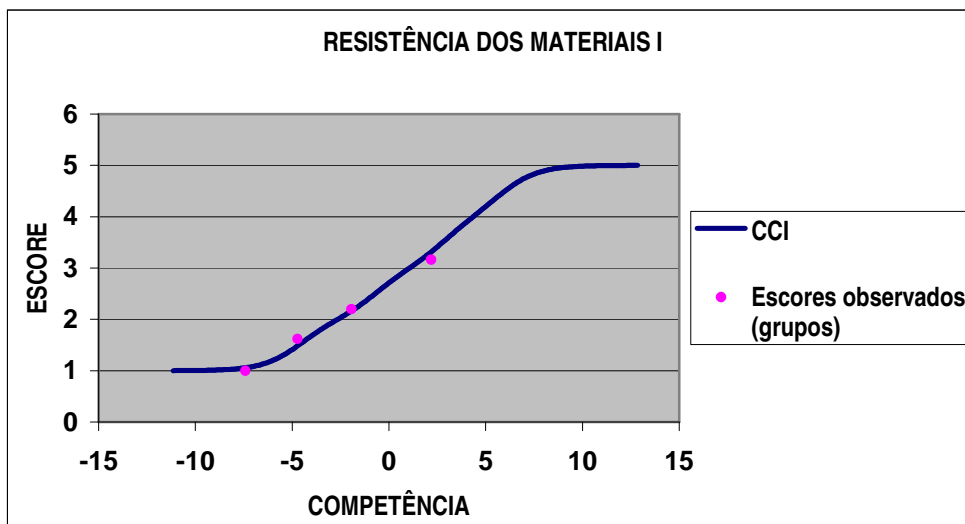
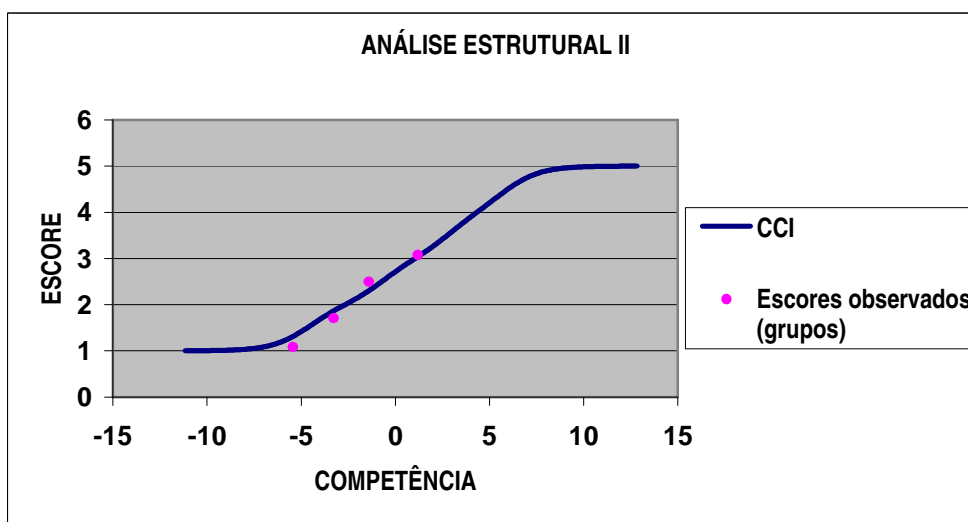


Gráfico 5.3 (b) – CCI – Análise Estrutural I.

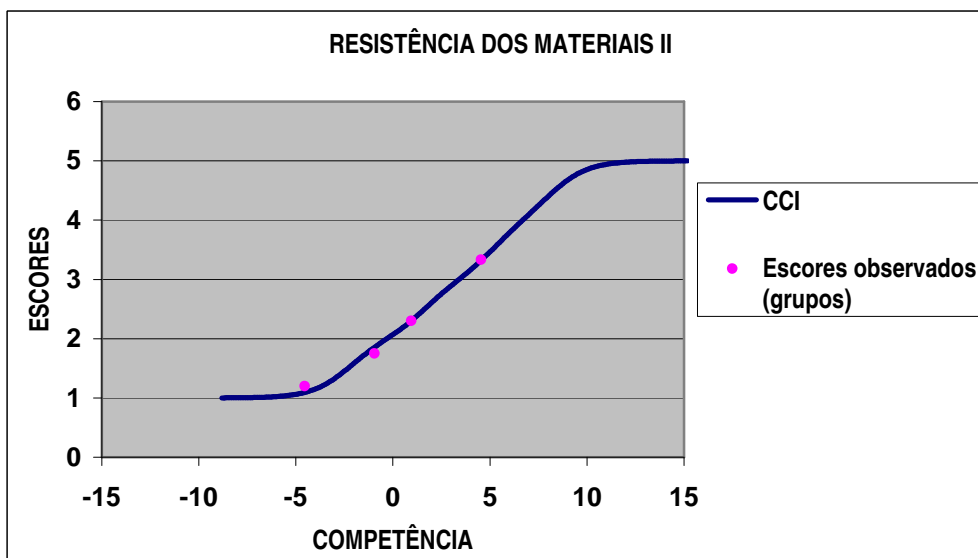




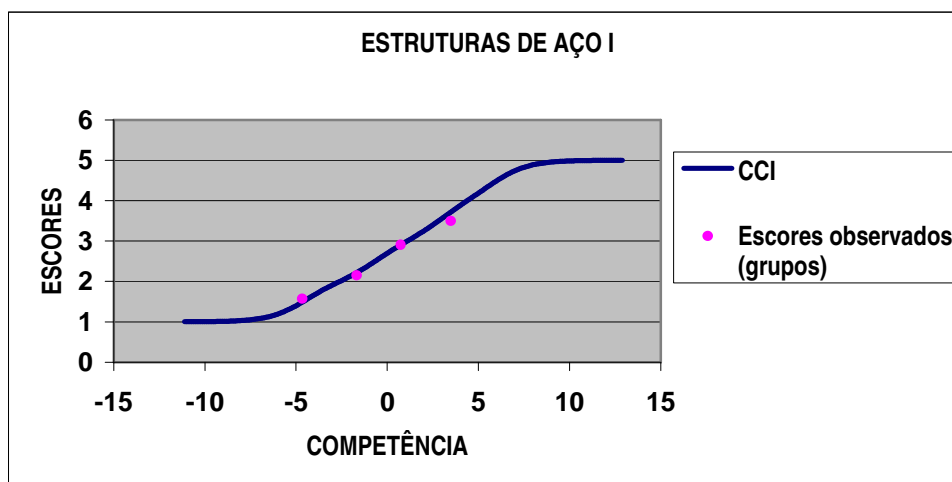
**Gráfico 5.3 (c) – CCI – Resistência dos Materiais I.**



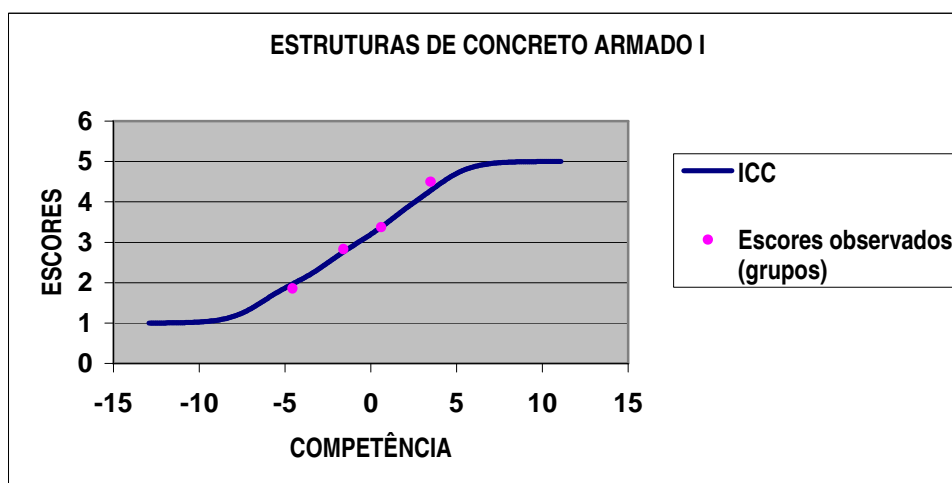
**Gráfico 5.3 (d) – CCI – Análise Estrutural II.**



**Gráfico 5.3 (e) – CCI – Resistência dos Materiais II.**



**Gráfico 5.3 (f) – CCI – Estruturas de Aço I.**



**Gráfico 5.3 (g) – CCI – Estruturas de Concreto Armado I.**

As curvas demonstram que os escores estão localizados ou sobre a curva ou bem próximos delas. Este comportamento ocorre também ao longo de toda a escala, validando a invariância dos itens entre os grupos de pessoas da amostra.

### 5.2.1 – A Escala de CGME

Uma vez que o modelo RASCH de respostas graduadas politômicas se ajusta aos dados temos então uma escala intervalar que mensura o construto unidimensional CGME. Ela é uma escala em logit em que se mensura tanto a CGME de cada sujeito quanto as dificuldades dos itens. Ao estimarmos os parâmetros dos sujeitos e dos itens, escolhemos que a média das dificuldades dos itens deveria ser nula. Além disto, os parâmetros de transição, comuns à todos os itens, são medidos em relação à dificuldade de cada item.

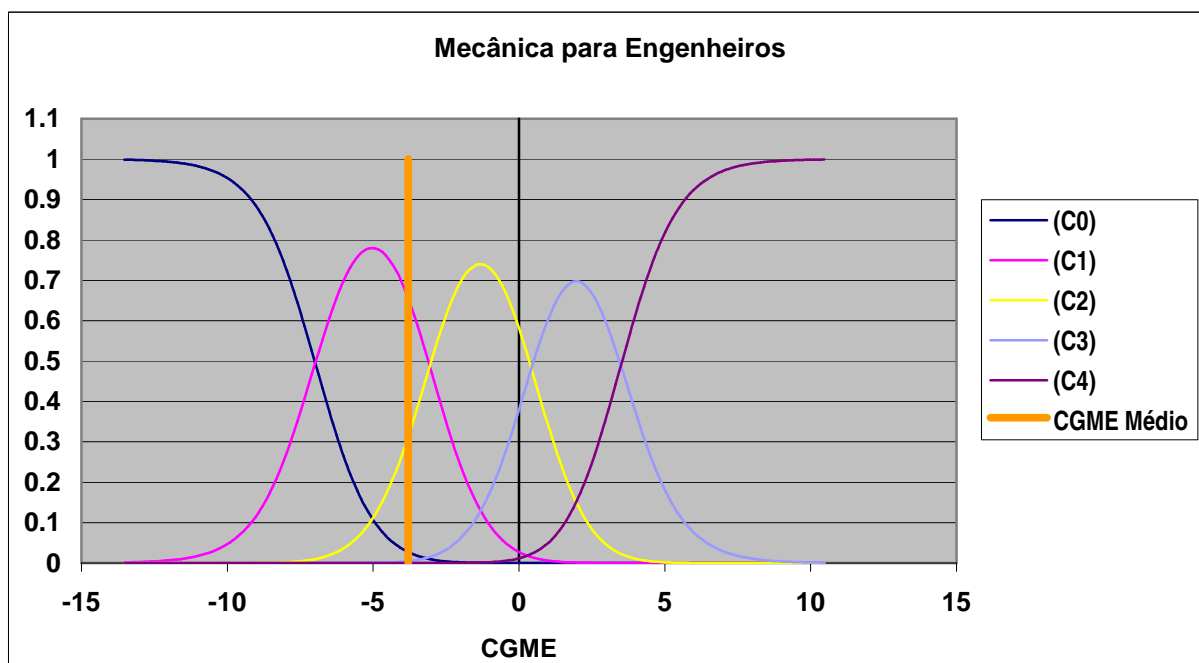
Na Tabela 5.5 estão apresentadas as transições entre as categorias de conceitos adjacentes. Como requerido, categorias e suas respectivas transições estão ordenadas.

**Tabela 5.5** – Transições entre as categorias de conceitos.

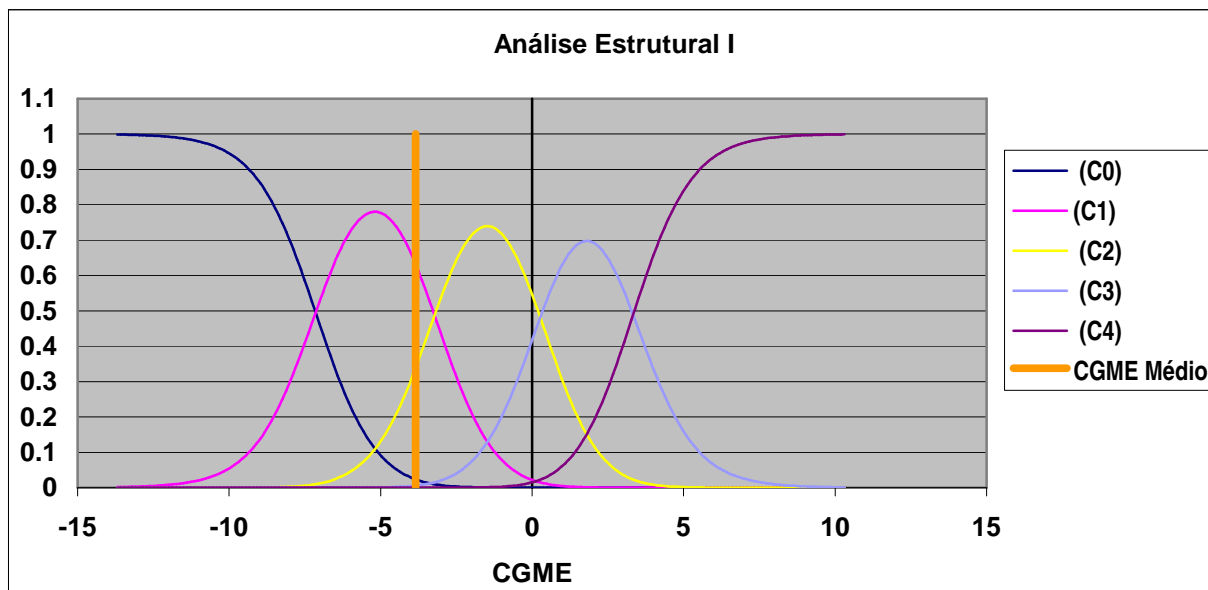
Transições entre Categorias	
C0 – C1	-5.45
C1 – C2	-1.53
C2 – C3	1.96
C3 – C4	5.02

Os Gráficos 5.4(a) @ 5.4(g) mostram as curvas de probabilidade para as categorias em cada uma das disciplinas de Estruturas. Estes confirmam a ordenação das categorias: não só as localizações das transições estão ordenadas, como também os pontos de máxima probabilidade de cada categoria estão ordenados.

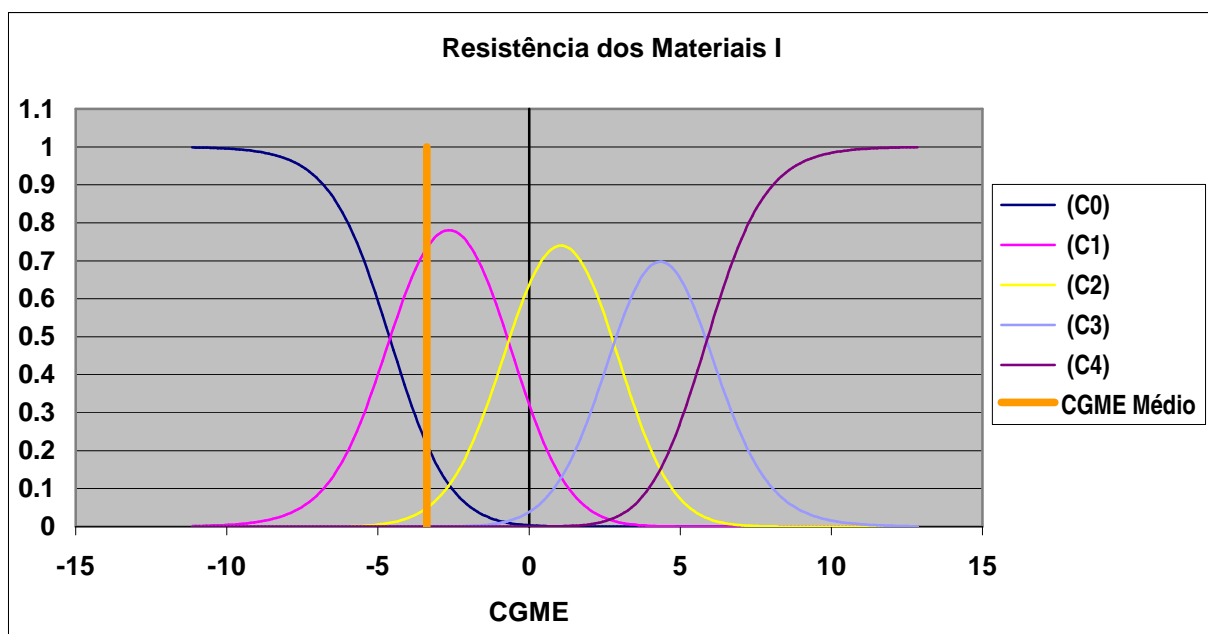
Nos gráficos 5.4(a) @ 5.4(g) estão representadas através de retas verticais a média da Competência Geral na Matéria Estruturas considerando as diversas ocasiões em que os sujeitos fizeram a disciplina correspondente. A Tabela 5.6 resume estes valores. E a Tabela 5.7 sumariza as probabilidades de atingir as categorias de conceito com a CGME média. Nota-se que, em média, C1 (60-69 pontos) é a categoria de maior probabilidade de ser alcançada, para todas as disciplinas exceto para Estruturas de Concreto Armado I.



**Gráfico 5.4 (a)** – Curvas de Probabilidade das categorias para Mecânica para Engenheiros.



**Gráfico 5.4 (b)** – Curvas de Probabilidade das categorias para Análise Estrutural I.



**Gráfico 5.4 (c)** – Curvas de Probabilidade das categorias para Resistência dos Materiais I.

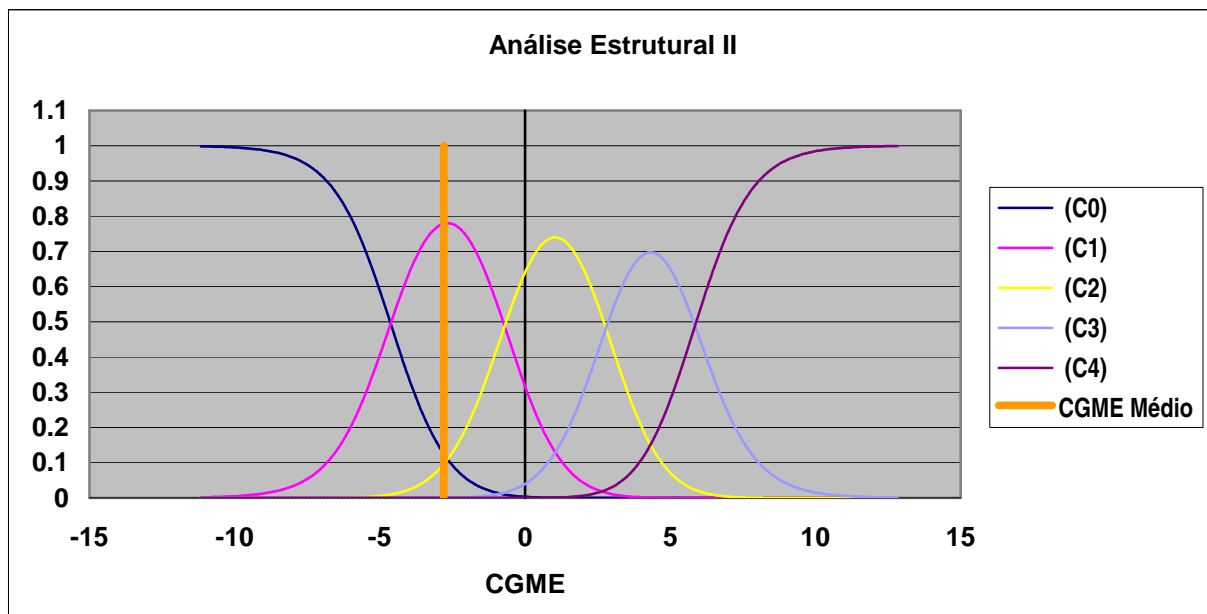


Gráfico 5.4 (d) – Curvas de Probabilidade das categorias para Análise Estrutural II.

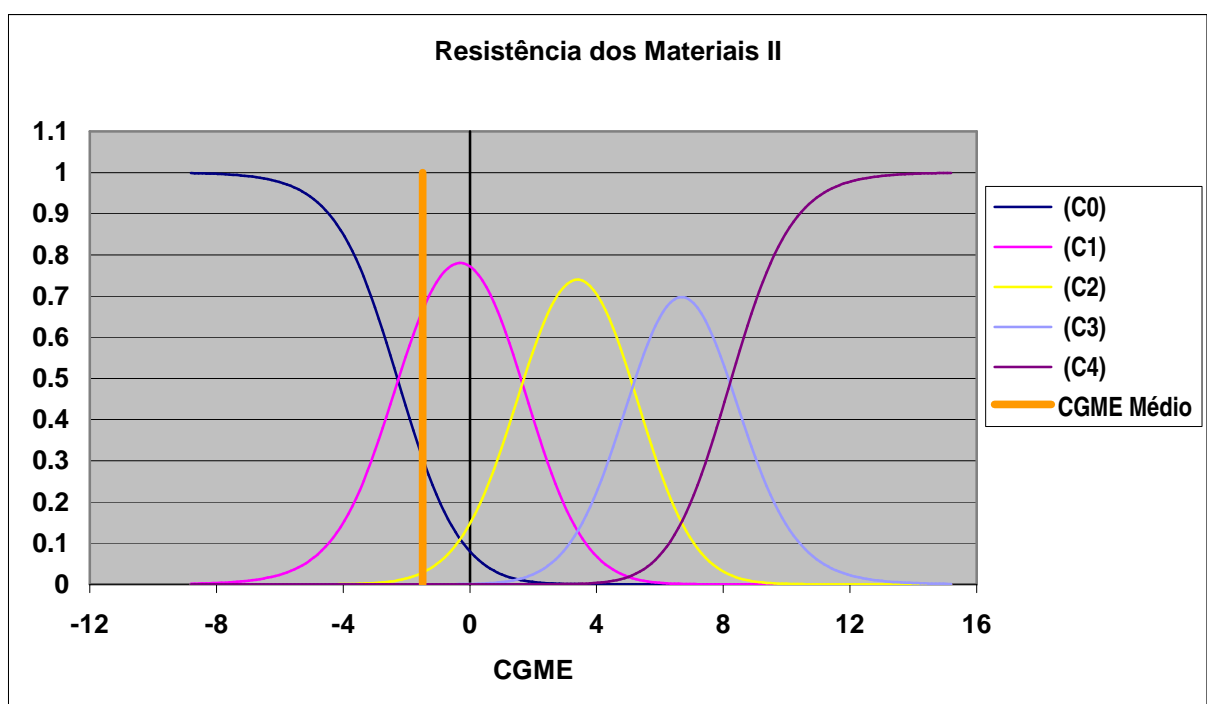
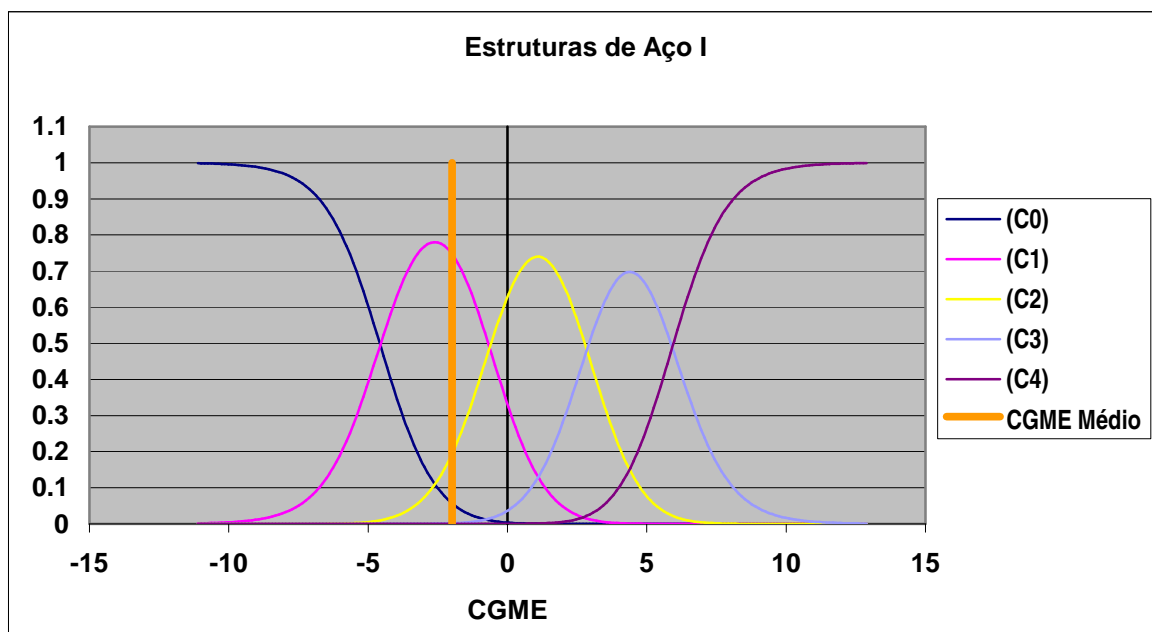
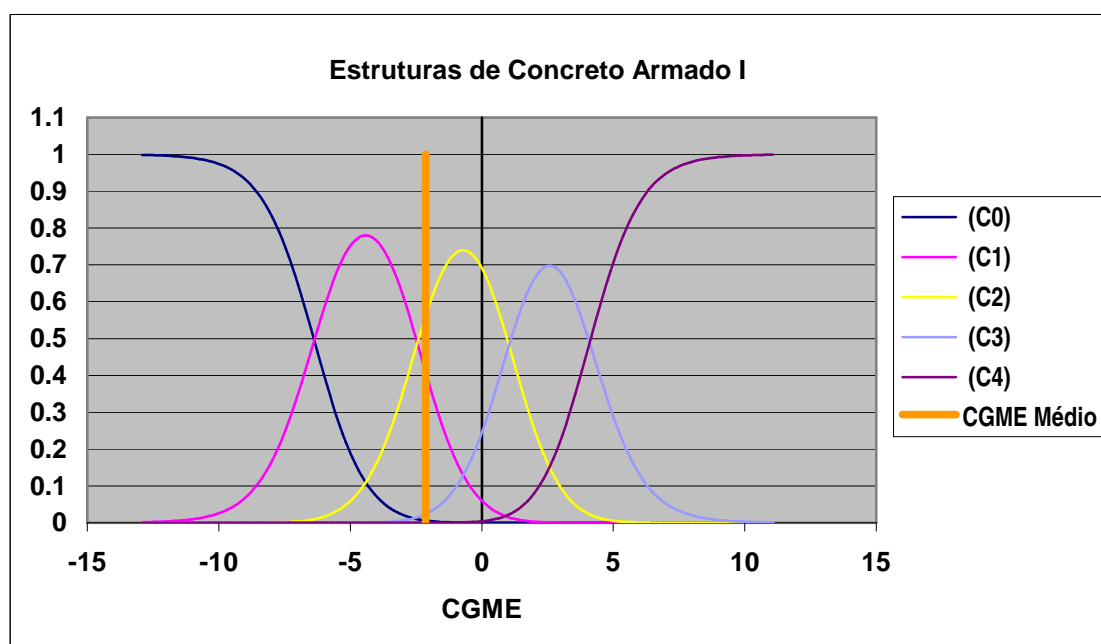


Gráfico 5.4 (e) – Curvas de Probabilidade das categorias para Resistência dos Materiais II.



**Gráfico 5.4 (f)** – Curvas de Probabilidade das categorias para Estruturas de Aço I.



**Gráfico 5.4 (g)** – Curvas de Probabilidade das categorias para Estruturas de Concreto Armado I.

**Tabela 5.6** – Média da Competência Geral por Disciplina.

<b>DISCIPLINAS</b>	<b>CGME Média</b>
Mecânica para Engenheiros	-3.80
Análise Estrutural I	-3.84
Resistência dos Materiais I	-3.39
Análise Estrutural II	-2.80
Resistência dos Materiais II	-1.49
Estruturas de Aço I	-1.99
Estruturas de Concreto Armado I	-2.14

**Tabela 5.7** – Probabilidade de atingir uma categoria de conceito com a CGME média.

DISCIPLINAS	CATEGORIAS DE CONCEITO				
	C0	C1	C2	C3	C4
Mecânica para Engenheiros	0.03	0.65	0.31	0.00	0.00
Análise Estrutural I	0.02	0.63	0.34	0.01	0.00
Resistência dos Materiais I	0.22	0.73	0.05	0.00	0.00
Análise Estrutural II	0.01	0.56	0.42	0.00	0.00
Resistência dos Materiais II	0.31	0.66	0.03	0.00	0.00
Estruturas de Aço I	0.06	0.75	0.19	0.00	0.00
Estruturas de Concreto Armado I	0.01	0.41	0.56	0.02	0.00

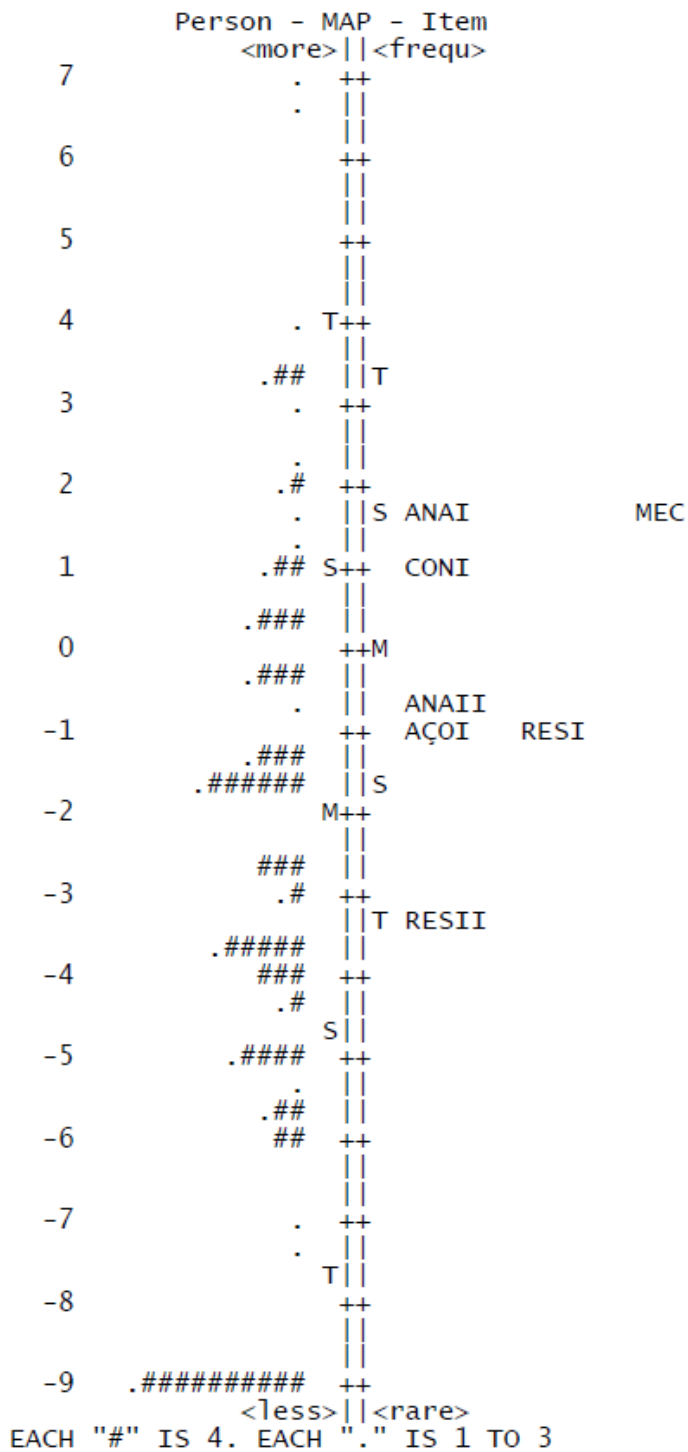
A Tabela 5.8 sintetiza a dificuldade dos itens. Nota-se o espalhamento destes valores, o que significa que os itens estão representando diferentes níveis do construto CGME. Isto corrobora a hipótese inicial de se construir uma escala ampla para abrigar múltiplos conteúdos. O intervalo total da dificuldade dos itens é de 4.879 logits: -1.69 (ANA I) @ 3.19 (RES I).

**Tabela 5.8** – Dificuldades das Disciplinas.

	MEC	ANA I	RES I	ANA II	RES II	AÇO I	CONCI
Dificuldade das Disciplinas	-1.53	-1.69	0.85	0.83	3.19	0.89	-0.92

A Figura 5.1 contém o mapa de dificuldade dos itens e da competência dos sujeitos, na escala de logits, produzido pelo programa WINSTEPS® (LINACRE, 2009). Nele os itens estão organizados pelo grau de dificuldade: os mais fáceis no topo para os mais difíceis na parte inferior. Os sujeitos estão classificados em ordem inversa. Na figura o símbolo # significa um conjunto de 4 sujeitos, enquanto que o símbolo “.” significa de 1 a 3 sujeitos.

O zero desta escala coincide com a média das dificuldades dos itens calculadas. Como uma escala de logits é intervalar, distâncias iguais em qualquer direção têm o mesmo valor. A letra M marca a média, S um desvio padrão e T dois desvios padrão.

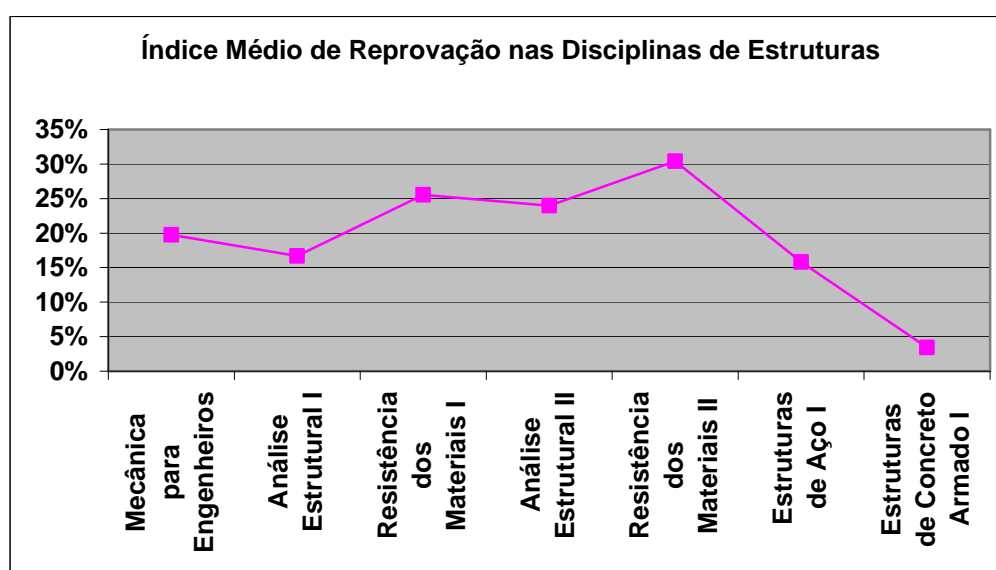


**Figura 5.1** – Mapa de Distribuição dos Itens (LINACRE, 2009).

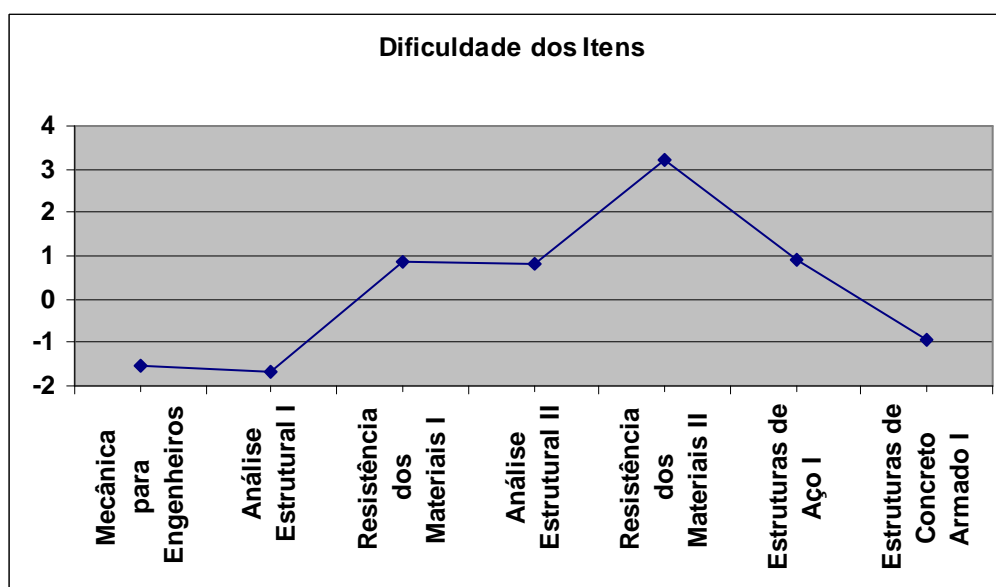


Nota-se que estes resultados reproduzem a realidade observada na IES em foco. É também o que mostram os gráficos a seguir. O Gráfico 5.5 condensa o índice médio de reprovação nas disciplinas pertencentes ao currículo mínimo da matéria Estruturas nos últimos 5 anos. E o Gráfico 5.6 reúne as dificuldades das disciplinas da matéria Estruturas.

A forma dos gráficos é bastante similar. A ordem se mantém a mesma: patamares ocorrem entre as mesmas disciplinas (itens), valores máximos e mínimos nas mesmas disciplinas. Estas características demonstram a reprodução e controle, no modelo, dos dados observados. É, portanto, uma forte evidência de que neste estudo não há nenhum artefato metodológico.



**Gráfico 5.5** – Índice Médio de Reprovação nas Disciplinas.

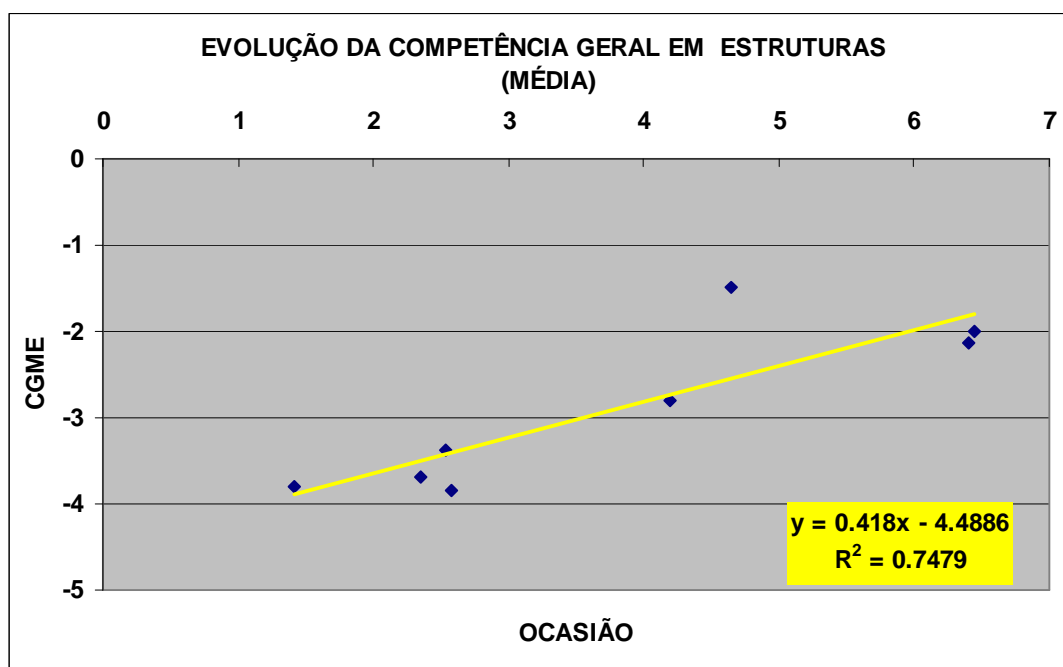


**Gráfico 5.6** – Dificuldade das Disciplinas da Matéria Estruturas.

Explorando um pouco mais o terceiro parâmetro do modelo Rasch de respostas graduadas politômicas, as medidas da Competência Geral na Matéria Estruturas, podemos analisar a evolução temporal média da CGME. Para isto calculamos a ocasião média em que os sujeitos cursaram cada uma das disciplinas bem como a CGME média (Tabela 5.9). O Gráfico 5.7 resume a evolução média positiva do construto pelos estudantes participantes deste estudo com taxa de crescimento de 42% por semestre.

**Tabela 5.9** – Tempo médio de integralização das disciplinas e a CGME média.

	MEC	ANAI	RESI	ANAI	RESII	AÇOI	CONI
Nº de Ocorrências	39	47	63	68	73	49	45
Tempo Médio	1.41	2.57	2.54	4.19	4.64	6.45	6.40
Média	-3.80	-3.84	-3.39	-2.80	-1.49	-1.99	-2.14



**Gráfico 5.7** – Evolução da Competência Geral na Matéria Estruturas (Média).

### 5.2.2 – A Evolução da CGME

Tendo construído uma escala para mensurar a CGME, podemos agora investigar de forma mais completa a evolução temporal da CGME, buscando aprimorar a resposta à questão de como os alunos aprendem as disciplinas da matéria estruturas. O ajuste dos dados a um modelo longitudinal hierárquico possibilita a definição de parâmetros que possam explicar tanto a evolução média quanto a evolução de cada um dos participantes.

Como discutido no Capítulo 2, o modelo hierárquico de dois níveis permite descrever trajetórias de mudança educacional tanto individual quanto as diferenças entre estas trajetórias. Ou seja, estabelece uma equação estatística que representa o estado inicial e a trajetória seguida pela variável resposta, que foi medida repetidamente em cada estudante. A esta equação são anexadas outras variáveis, ditas correlatas ou predictoras, que fazem variar os parâmetros acima e que permitem diferenciar as pessoas.

A Tabela 5.10 sintetiza as variáveis predictoras (Capítulo 4) utilizadas para a análise hierárquica das medidas da Competência Geral na Matéria Estruturas (CGME).

**Tabela 5.10** – Preditores para a trajetória da CGME.

<b>TEMPO</b>	NÚMERO DA AULA EM QUE SE DEU A AVALIAÇÃO, MENSURADO EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AULAS DADAS.
<b>OCASIAO</b>	OCASIÃO EM QUE SE DEU A MEDIDA DO CONSTRUTO.
<b>OEE</b>	SE NA OCASIÃO JÁ HAVIA INICIADO O ESTUDO DA MATÉRIA ESTRUTURAS ENTÃO OEE=1; CASO CONTRÁRIO OEE = 0.
<b>CRSG</b>	CATEGORIZAÇÃO DO RSG. EM CADA SEMESTRE, SE RSG > MÉDIA DO RSG NO SEMESTRE ENTÃO CRS = 1, CASO CONTRÁRIO CRS = 0.
<b>CAL</b>	CATEGORIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM CÁLCULO EM DUAS CATEGORIAS.
<b>GEN</b>	GÊNERO: MASCULINO = 0; FEMININO =1.
<b>C_IDADE</b>	CATEGORIZAÇÃO DA FAIXA ETÁRIA REGULAR. SE FAIXA ETÁRIA > 24 ENTÃO C_IDADE = 1 CASO CONTRÁRIO C_IDADE = 0.
<b>SEM</b>	SEMESTRE DE ENTRADA NO CURSO.
<b>VEST</b>	FORMA DE ENTRADA NO CURSO.
<b>F_ECON</b>	FAIXA ECONÔMICA.
<b>EN_ME</b>	ENSINO MÉDIO.
<b>MOT_2</b>	POSSIBILIDADE DE INSERÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO.
<b>MOT_7</b>	INTERESSE PELA ÁREA.
<b>MAT_V</b>	NOTA NO VESTIBULAR DE MATEMÁTICA.
<b>FIS_V</b>	NOTA NO VESTIBULAR DE FÍSICA.

As equações do modelo hierárquico foram apresentadas no Capítulo 2. Todas as variáveis predictoras foram introduzidas no modelo como efeitos fixos. Testou-se tanto o efeito destas variáveis sobre o intercepto bem como sobre a inclinação. Entretanto, o efeito de algumas não se mostrou estatisticamente significativas ao nível de 0.05.

O modelo ao qual os dados mais se ajustaram foi:

$$CGME_{ij} = \beta_{0ij} + 0.330(0.050)_j \text{ Tempo}_{ij} + 1.178(0.545) \text{ MOT}_7_i ,$$

com  $\beta_{0ij} = - 3.061(0.239)$ .

Este modelo estabelece que os alunos iniciam, em média, com a Competência Geral na Matéria Estruturas em  $- 3.061$  logit e com uma taxa de crescimento de  $0.330$  logit a

cada ocasião (semestre). E o efeito do tempo é significativo ( $Z = 3.061/0.239$  e  $Z = 0.330/0.050$ ,  $p \ll 0.05$ ). Portanto, a taxa de crescimento é significativamente diferente de zero.

Os valores das variâncias e covariância obtidas para o nível 2 iguais a:

$$\begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 0.114(0.394) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = 0.029(0.056) & \sigma_1^2 = 0 \end{bmatrix}$$

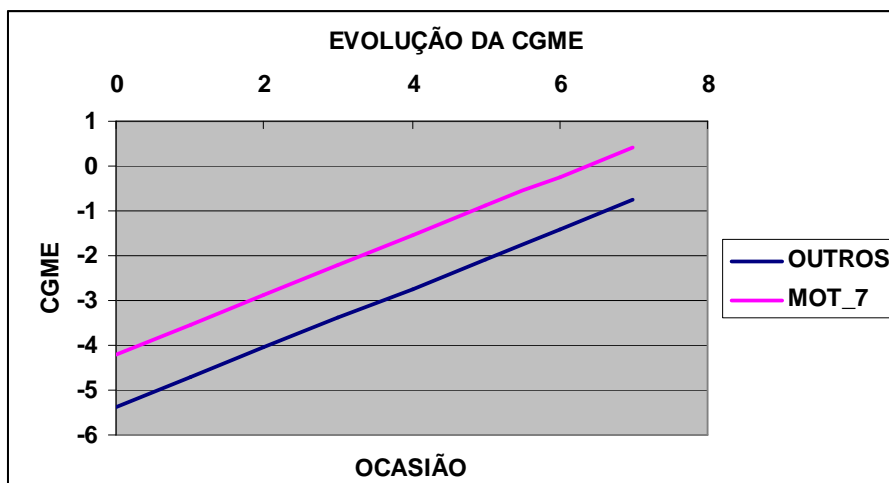
mostram que toda a variância entre os sujeitos está sendo explicada e que todos crescem durante o estudo das disciplinas da matéria Estruturas.

A variância entre as ocasiões (nível 1) avaliada pelo modelo foi:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = 8.570(0.919)$$

indicando que o modelo não conseguiu explicá-la, mesmo com a introdução do preditor MOT\_7 ( Interesse pela área: Engenharia Civil).

O Gráfico 5.8 mostra a evolução da CGME descrevendo a trajetória crescente dos alunos agrupados em: os alunos que responderam que tinham interesse pela área de engenharia e os demais. Os dois grupos têm trajetórias paralelas com uma taxa de crescimento de 0.33 logit/semestre.



**Gráfico 5.8** – Evolução da Competência Geral na Matéria Estruturas.

Quanto à variação individual ela deve ser nula ou muito pequena, pois a variância associada à taxa  $\sigma_1$  calculada pelo modelo hierárquico foi igual a zero.

Outro aspecto interessante a destacar foi o efeito positivo do preditor MOT\_7, retirado do questionário sócio-econômico respondido pelos alunos na época do Vestibular, que corresponde ao motivo principal para a escolha do curso: Interesse pela Área.

### 5.2.3 – A Evolução do Rendimento Semestral Global

O Rendimento Semestral Global (RSG) é outro conjunto de dados longitudinais que modelados adequadamente podem descrever a mudança educacional dos alunos ao cursar as disciplinas do curso de Engenharia Civil. A matriz de dados contém o resultado deste parâmetro em 8 semestres anteriores a este estudo. O RGS é a média ponderada do desempenho acadêmico (conceito) do aluno em cada semestre.

Novamente utilizou-se o pacote estatístico MLwiN® (RASBASH *et al.*, 2009) para adequar os dados ao modelo hierárquico de 2 níveis. O resultado de melhor ajuste foi:

$$\mathbf{RSG}_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1j} \mathbf{Tempo}_{ij} - 0.280(0.121)\mathbf{OEE}_{ij} - 0.488(0.137) \mathbf{C\_idade}_j ,$$

onde  $\beta_{0ij} = 2.937(0.136)$  e  $\beta_{1j} = 0.059(0.010)$ .

Este modelo estabelece que os alunos iniciam, em média, com o RSG em 2.937 logit e com uma taxa de crescimento de 0.059 logit a cada ocasião (semestre). O efeito do tempo é significativo ( $Z = 2.937/0.136$  e  $Z = 0.280/0.121$ ,  $p \ll 0.05$ ). Portanto, a taxa de crescimento é significativamente diferente de zero, ainda que seja um efeito muito pequeno.

Os valores das variâncias e covariância obtidas para o nível 2 iguais a:

$$\begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 0.137(0.040) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = 0.000(0.004) & \sigma_1^2 = 0.001(0.001) \end{bmatrix}$$

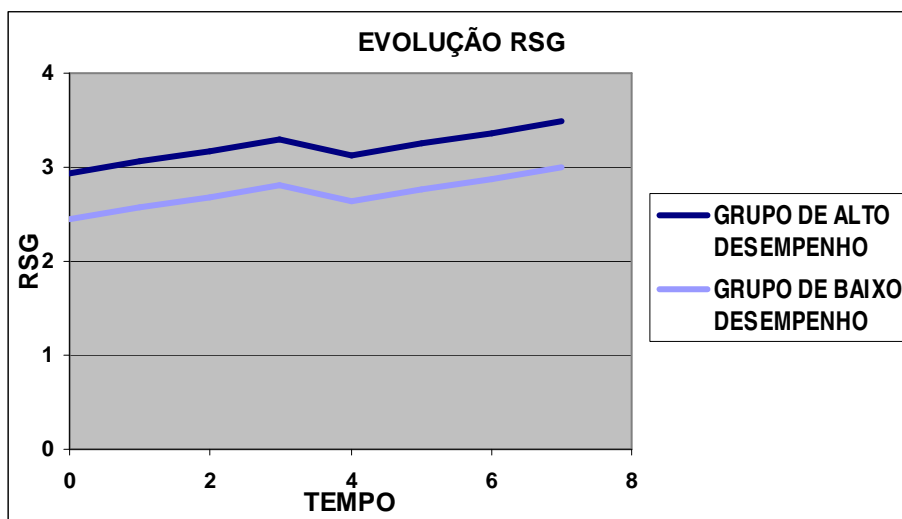
mostram que toda a variância entre os sujeitos está sendo explicada e que todos crescem durante o estudo das disciplinas que integram o currículo de Engenharia Civil.

A variância entre as ocasiões (nível 1) avaliada pelo modelo foi

$$\sigma_{\epsilon}^2 = 0.315(0.029)$$

indicando que o modelo não conseguiu explicá-la, mesmo com a introdução dos preditores OEE e C\_idade.

O Gráfico 5.9 mostra a evolução do RSG descrevendo a trajetória crescente (~6%) dos alunos em dois grupos denominados de alto e baixo desempenho. Os alunos categorizados em alto desempenho foram aqueles que estavam com a idade regular na época da pesquisa, ou seja, não atrasaram a entrada na universidade.



**Gráfico 5.9** – Evolução do Rendimento Semestral Global.

O gráfico mostra as trajetórias de crescimento paralelas e a queda em ambas marca o início das disciplinas da matéria Estruturas (preditor OEE) no curso de Engenharia de Estruturas.

### 5.3 – Discussão dos Resultados

Uma escala para a mensuração do construto Competência Geral na Matéria Estruturas foi construída. Com ela foi estabelecida uma ordem de dificuldade das disciplinas que compõem a matéria Estruturas.

Pode-se traçar uma trajetória média da evolução da competência adquirida ao longo dos 8 semestres anteriores ao estudo, determinando um crescimento positivo de 42% por semestre através de uma regressão simples.

Por outro lado, a análise hierárquica determinou um modelo estatístico significativo no nível de 0.05. O modelo hierárquico mostrou que a evolução na CGME é em média de 33% por semestre. Este ajuste do modelo em dois níveis foi conseguido pela introdução do

preditor MOT\_7 que corresponde ao motivo principal para a escolha do curso o interesse dos alunos pela área. Um segundo efeito deste preditor foi a discriminação da população em dois grupos: os estudantes que tem interesse pela área terminam com um valor da CGME maior do que os que escolheram o curso por outro motivo (ver Item 4.2.10).

Baseados nestes resultados estatisticamente significativos as evidências são suficientes para afirmar que os alunos aprendem positivamente as disciplinas da matéria Estruturas. Entretanto, a categoria de aprovação com maior probabilidade de ser observada é a correspondente ao conceito D (60-69 pontos).

O segundo resultado encontrado pela análise estatística hierárquica considerando o Rendimento Semestral Global que envolve todas as matérias do Curso de Engenharia Civil também foi estatisticamente significativo no nível de 0.05. Os parâmetros encontrados demonstram um crescimento positivo evidenciando uma evolução positiva no curso como um todo, que inclui as disciplinas da matéria Estruturas.

Entretanto, dois fatores agem negativamente neste crescimento. O primeiro deles é o início das disciplinas de Estruturas na grade curricular (no 4<sup>o</sup> semestre, ver Anexo 1). O segundo é o fator idade. Ele também discrimina a população em dois grupos: os que estão na faixa etária regular terminam o curso com o RSG superior aos de idade superior à regular.

O comentário a seguir tem caráter especulativo. É fato que o número máximo de créditos por semestre é estipulado pelas normas acadêmicas da IES e que a partir do 5<sup>o</sup> semestre até o 8<sup>o</sup> semestre entram na grade curricular duas disciplinas da matéria Estruturas. Portanto, o decréscimo na evolução do RSG pode indicar que o número de disciplinas da matéria Estruturas está desbalanceado ou que elas exigem competências mais complexas em relação às demais.

## **6 – RESULTADOS — PARTE II**

### **6.1 – Introdução**

O objetivo deste capítulo é relatar como as avaliações de uma disciplina da matéria Estruturas deram origem a um instrumento de medida da competência nos vários domínios de conhecimentos empregados nas soluções de problemas dos assuntos tratados. Estas medidas em conjunto com dados oriundos do histórico escolar e do questionário sócio-econômico que os estudantes respondem ao fazerem o vestibular foram modelados e analisados para responder a segunda questão de pesquisa:

*Como os alunos graduandos de Engenharia Civil interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas da matéria Estruturas?*

A disciplina de Estruturas de Concreto Armado II foi escolhida e o modelo Rasch dicotômico foi o procedimento empregado para a construção do instrumento de medida do desenvolvimento das competências envolvidas.

As medidas da Competência em Concreto Armado II associadas a outras variáveis descritoras construídas com informações do histórico escolar e do questionário sócio-econômico foram ajustadas ao modelo longitudinal hierárquico de 2 níveis. Obteve-se, então, um refinamento da evolução, uma vez que, o modelo hierárquico possibilita a definição de parâmetros que possam explicar tanto a evolução média quanto a evolução de cada um dos participantes.

### **6.2 – Como os alunos graduandos de Engenharia Civil interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas da matéria Estruturas?**

A estratégia adotada para descrever como os estudantes interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas da matéria Estruturas foi construir uma escala intervalar de medida que permita comparar o desenvolvimento da competência dos alunos ao cursar uma destas disciplinas.

A escolha da disciplina obedeceu aos seguintes requisitos. Ela deve ser uma disciplina dentre as que compõem o Núcleo de Conteúdos Específicos e possuir a classificação Currículo Mínimo. O primeiro quesito é devido às características destas disciplinas. Suas ementas e objetivos tratam da aplicação e extensão de várias teorias



físicas e procedimentos numéricos e normativos resultantes da formalização da Engenharia de Estruturas. O último quesito é devido à escolha hoje bastante acentuada pelos estudantes em cursar as disciplinas optativas relacionadas às matérias de Transporte, Geotecnia, Construção Civil, Recursos Hídricos e Saneamento. Com esta diversificação, as turmas são pequenas e conseqüentemente a amostra a ser estudada também.

Do exposto, a disciplina Estruturas de Concreto Armado II foi a escolhida para identificar os padrões de mudança educacional dos estudantes e descrever trajetórias de aprendizagem no contexto do Curso de Engenharia Civil da IES em foco.

Um último critério que norteou a escolha foi o fato de que, apesar de não lecionar nenhuma das disciplinas do Núcleo de Conteúdos Específicos, a pesquisadora trabalhou com projeto de Estruturas de Concreto Armado antes de ingressar na carreira do magistério.

### **6.2.1 – A Disciplina Estruturas de Concreto Armado II**

A disciplina Estruturas de Concreto II complementa o estudo iniciado na Disciplina de Estruturas de Concreto Armado I. Sua carga didática é de 60 horas-aula.

São lecionados os fundamentos teóricos e práticos do comportamento das estruturas de concreto armado que levam aos procedimentos de projeto e especificações para a sua execução. São estudados métodos e modelos para análise e dimensionamento de elementos de concreto armado quando submetidos a diferentes esforços solicitantes (força normal, momento fletor, esforço cortante, momento de torção) atuando separadamente ou em conjunto. A verificação em serviço do comportamento de vigas considerando o efeito da fissuração e da fluência é também abordado. O conteúdo abordado é mostrado no Quadro 6.1.

A metodologia de ensino para cada um dos temas que formam o conteúdo é constituída de aulas teóricas seguidas de aulas práticas. Nas aulas teóricas são ministrados os aspectos de análise e de dimensionamento relevantes ao elemento de concreto armado em questão bem como as prescrições e disposições construtivas da norma ABNT NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2007). Nas aulas práticas, exemplos de problemas encontrados no dia a dia da prática de projeto são primeiramente

resolvidos pelo professor seguidos de trabalhos práticos solucionados pelos alunos de modo a consolidar o tópico lecionado.

• DEFORMAÇÕES EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO.
• TORÇÃO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO.
• LAJES NERVURADAS.
• FLEXÃO NORMAL COMPOSTA EM SEÇÕES RETANGULARES.
• ESTUDO DE PILARES.
PILAR INTERNO (COMPRESSÃO CENTRADA)
PILAR DE BORDA (FLEXÃO NORMAL COMPOSTA)
PILAR DE CANTO (FLEXÃO OBLÍQUA COMPOSTA)
• TÓPICOS ESPECIAIS.
• VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PUNÇÃO EM LAJES LISAS E COGUMELO
• ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESCADAS

**Quadro 6.1** – Conteúdo programático da disciplina Estruturas de Concreto Armado II.

A avaliação é feita com base nos resultados de três provas e dos trabalhos práticos realizados em sala de aula. Cada prova corresponde a 31 % da nota total enquanto que a soma dos resultados dos trabalhos práticos responde pelos restantes 7 %. As provas são sempre com consulta. O material de consulta de cada uma das provas é constituído por somente uma folha, padrão A4, manuscrita (frente e verso) pelo aluno onde ele faz as anotações que lhe convier para a resolução da mesma. Esta folha, devidamente identificada, é parte integrante de cada prova e é entregue ao professor junto com a resolução da mesma.

**6.2.2 – A Mensuração das Competências na Disciplina Estruturas de Concreto Armado II: O Instrumento de Medida**

Competências podem ser mensuradas usando vários métodos: provas escritas, testes computadorizados, simulações, observações diretas professor–aluno. De particular relevância para este trabalho, a escolha recai no grau em que um método avalia as competências múltiplas envolvidas. O método tem que ser sensível às mudanças no estado das competências que ocorrem durante o processo de aprendizagem (KOEPPEN *et al.*, 2008).

A decisão de utilizar as avaliações comuns à disciplina de Estruturas de Concreto Armado II como testes para a mensuração das competências desenvolvidas foi adotada

pelas diretrizes teóricas e institucionais narradas acima e pelas razões de ordem prática expostas a seguir.

Primeiramente, foram descartadas intervenções relativas ao conteúdo abordado, às estratégias de ensino e às formas de avaliação utilizadas pelos professores. O sistema acadêmico da IES em foco é muito burocrático para aprovar mudanças.

A tentativa de obter informações para responder as nossas indagações através de múltiplas fontes de dados como, por exemplo, testes e entrevistas, não foi aventada para esta turma, pois em semestres anteriores, não se logrou êxito ao tentar um estudo transversal utilizando esta estratégia de coleta de dados. Os alunos não aceitavam participar, alegando falta de tempo por incompatibilidade de horários devido a diversas atividades extra-classe.

Além disso, não foram encontrados testes padronizados brasileiros para os objetivos propostos neste estudo. Como mencionado na revisão, existem algumas iniciativas americanas em desenvolvimento, para mensurar conhecimentos específicos em estática e resistência dos materiais (STEIF, 2004, 2005; SCOTT, 2004). Porém elas foram descartadas por duas razões. Em primeiro lugar, estes testes poderiam responder apenas parte das questões, pois eles medem competências nas disciplinas que correspondem aos tópicos do núcleo de conteúdos profissionalizantes (Tabela 3.2) e não específicos. Em segundo lugar, teríamos que obter a permissão dos autores para a sua utilização e caso tivéssemos sucesso nesta tarefa, os procedimentos usuais de tradução de instrumentos de pesquisa para a língua portuguesa demandariam um período de tempo bastante extenso.

No censo comum, testes são sempre vistos como sendo provas baseadas em um sistema de múltipla escolha. Esta abordagem não é muito utilizada nas disciplinas de Estruturas, pela natureza dos conteúdos ensinados.

A possibilidade de elaborar e validar testes para detectar o entendimento dos alunos ao estudar os conteúdos da disciplina Estruturas de Concreto Armado II foi também descartada. É sabidamente inconciliável o tempo disponível para este estudo e a realização dos procedimentos visando atender os critérios de validade e fidedignidade de testes. Os critérios de validade referem-se ao grau em que o teste mede realmente aquilo que se pretende medir. Validade do teste também se refere ao grau de qualidade em que as

inferências, conclusões e decisões tomadas com base nos resultados dos testes são adequadas e significativas.

Assim sendo, decidiu-se, então, examinar as provas formuladas pelos professores a luz dos critérios de validade (TROCHIN, 2006; COHEN *et al.*, 2003). O fato destes professores lecionarem, em parceria, a disciplina de Estruturas de Concreto II há mais de 20 semestres foi significativo nesta tomada de decisão visto que as questões por eles formuladas são adequadas para medir o conhecimento dos estudantes no contexto da disciplina. Ou seja, acertos ou erros são interpretados como sucesso ou falha respectivamente no entendimento do contexto e não são mascarados ou encobertos por outros conhecimentos complementares, anteriores ou até mesmo futuros à disciplina.

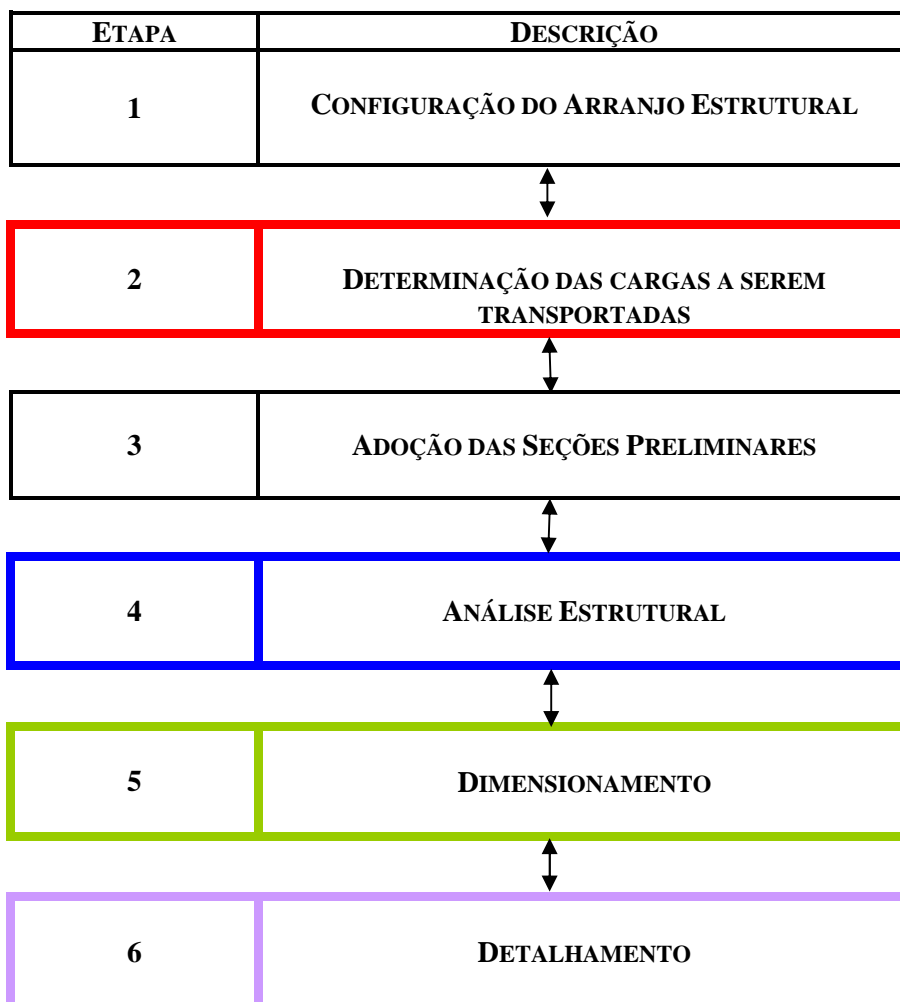
Desta forma podemos considerar que as questões das provas satisfazem o critério de validade de conteúdo (construct validity: content validity) e podem compor instrumentos válidos e de qualidade para a coleta de dados para esta investigação.

O entendimento não é uma grandeza ou objeto físico mensurável. Porém, podemos perceber a sua presença ou ausência através de tarefas executadas com sucesso ou não (SCHÖN, 1987).

Obviamente, a natureza dos assuntos tratados na disciplina obedece ao processo global de projeto, discutido em linhas gerais no Capítulo 3. O processo de projeto de uma estrutura é hierárquico e iterativo. Uma outra maneira de ver as etapas de criação de uma estrutura está no fluxograma da Figura 6.1. Cada etapa é composta de vários procedimentos que, por sua vez, são também hierárquicos. Quaisquer partes destas seqüências podem ser repetidas por necessidade da inadequação dos resultados a critérios normalizados ou requisitos estruturais não satisfeitos (SALMON & JOHNSON (1980); WEST (1980)).

Em função do caráter semestral das disciplinas do Curso de Engenharia Civil, apenas as disciplinas de Estruturas que compõem o núcleo de conteúdos específicos têm como objetivo o desenvolvimento de projetos completos. No contexto das questões, de cada tema avaliado, das provas de Estruturas de Concreto II, as etapas 1 e 3 são sempre propostas pelos professores e os alunos completam as etapas 2, 4 a 6 para chegar à solução do problema. É importante frisar que uma consequência desta sistemática é a inexistência

de múltiplas respostas às questões formuladas. Uma pequena variabilidade pode acontecer na etapa 6, pela natureza do processo de detalhamento das estruturas de concreto armado.



**Figura 6.1** – Processo Global do Projeto Estrutural.

Em cada questão de uma prova da disciplina de Estruturas de Concreto Armado II é possível reconhecer etapas hierárquicas de projeto e usar as tarefas envolvidas como indicadores do estado de entendimento do estudante para o tema tratado. Um indicador corresponde à menor sub-tarefa que apresenta um resultado (cálculo ou uma ação) registrado e identificável na prova, de tal forma que não haja inferências sobre ele.

### 6.2.3 – A Construção de Conjuntos de Indicadores da Competência

O procedimento para a obtenção dos indicadores para re-analisar cada prova iniciou-se a partir do padrão de resposta esperada (Anexo 3), elaborado pelos professores

da disciplina de Estruturas de Concreto Armado II. Subentende-se a adequação do padrão de respostas à Teoria das Estruturas, à Teoria do Concreto Armado e às seguintes normas: ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2007), ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (1980) e ABNT NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação (2007). As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Por seu turno, o padrão de resposta de cada prova segue o modelo de processos hierárquicos pertinentes a cada um dos temas estudados. Cada processo é por sua vez composto de procedimentos hierárquicos, sendo cada procedimento a menor sub-tarefa que apresenta um resultado. Este resultado, registrado e identificável na prova, pode ter origem diversas. São resultados, por exemplo, da leitura de arranjos estruturais propostos, da avaliação de expressões matemáticas e/ou lógicas, de esboço de croquis em uma ou mais dimensões do caminho das cargas, e das disposições das armaduras, do traçado de diagramas representativos da distribuição dos esforços solicitantes. Desta forma, finalmente, cada resultado obtido de um procedimento é um indicador do entendimento do tema em questão.

Para exemplificar esta metodologia (cf. Figura 6.1) utilizar-se-á a primeira questão (Figura 6.2) da primeira prova (Anexo 2). O tema tratado é Torção em Vigas de Concreto Armado. Abaixo do enunciado da questão está mostrado na forma de croquis, pelas linhas de eixo dos elementos estruturais a configuração do arranjo estrutural (Etapa 1) e a seção transversal adotada (Etapa 3).

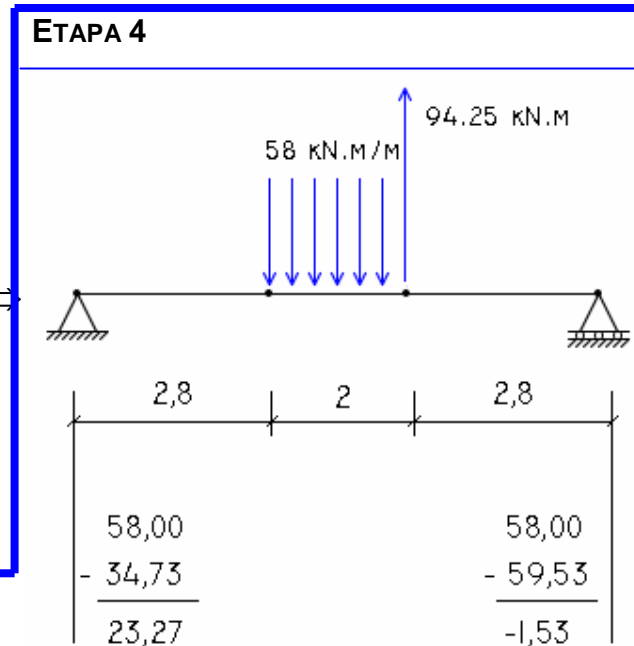
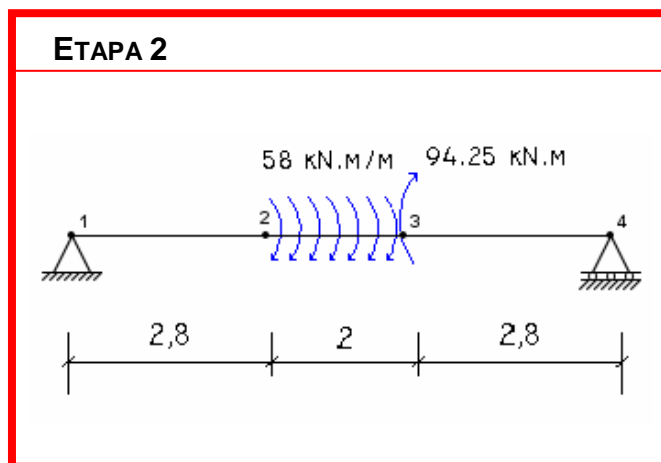
O padrão de resposta para esta questão está apresentado na Figura 6.3. Estão identificadas as Etapas 2, 4 5 e 6 (Figura 6.1). É possível perceber o caráter hierárquico da solução e os procedimentos orientados por fórmulas matemáticas. Fórmulas matemáticas oriundas da Teoria das Estruturas (Etapas 2 e 4), da Teoria do Concreto Armado e das normas ABNT (Etapas 5 e 6).



## 1ª Prova de Concreto II - Padrão de Resposta

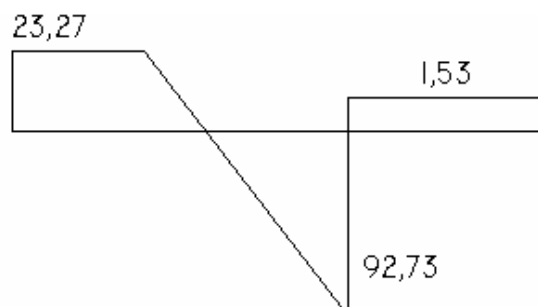
## 1º Questão

## Esforços solicitantes de Torção na viga AB



## Diagrama de Esforços

Diagrama de Esforço Cortante Fictício = Diagrama de Momento de Torção



## ETAPA 5

## Geometria da seção vazada a considerar

$$10 \leq h_e \leq 10 \text{ cm}$$

$$h_e = 10 \text{ cm}$$

$$A_e = (40 \times 65) = 2600 \text{ cm}^2$$

$$u = (40 + 65) \times 2 = 210 \text{ cm}$$

Figura 6.3 – Padrão de Resposta da Primeira Questão da Primeira Prova.



**ETAPA 5****Verificação da Tensão no Concreto**

$$\tau_{sd} = \frac{T_{sd}}{2 \cdot A_e \cdot h_e} = \frac{1,4 \cdot 92,73 \cdot 100}{2 \cdot 10 \cdot 2600} = 0,25 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{td2} = 0,402 \text{ kN/cm}^2$$

**Área da armadura transversal**

$$\frac{A_{90}}{s} = \frac{T_{sd}}{2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}} = \frac{1,4 \cdot 92,73 \cdot 100}{2 \cdot 2600 \cdot 43,5} = 0,0574 \text{ cm}$$

$$\text{fazendo } s = 100 \text{ cm} \Rightarrow A_{90} = 5,74 \text{ cm}^2/\text{metro}$$

**ETAPA 6****Área de estribo mínimo**

$$\frac{A_{90}}{s} \geq 0,2 \cdot h_e \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}} = 0,2 \cdot 10 \cdot \frac{0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3}}{500} = 0,0103 \text{ cm}$$

$$\text{fazendo } s = 100 \text{ cm} \Rightarrow A_{90} = 1,03 \text{ cm}^2/\text{metro}$$

$$\text{Área de estribo } A_{90} = 5,74 \text{ cm}^2/\text{metro} \Rightarrow \phi \text{ 8,0 mm c/ 8 cm}$$

**Figura 6.3** (cont.) – Padrão de Resposta da Primeira Questão da Primeira Prova.

Uma vez demarcadas as etapas, cada um dos indicadores foi discriminado e nomeado. Para a etapa 2, por exemplo, foram identificadas 3 sub-tarefas. Cada uma originou um identificador do entendimento do aluno. São eles:

- I1 – Cálculo do valor do carregamento na viga AB.
- I2 – Explicitação do tipo das cargas resultantes: distribuída e concentrada.
- I3 – Explicitação do sentido das cargas atuantes para o carregamento equivalente.

Na etapa 4, foram identificados 5 sub-tarefas, que são:

- I4 – Aplicação das equações de equilíbrio estático.
- I5 – Cálculo do valor das reações de apoio.
- I6 – Traçado do diagrama do esforço de torção: forma
- I7 – Traçado do diagrama do esforço de torção: valores
- I8 – Escolha do valor máximo

O número de indicadores do entendimento dos alunos encontrados por prova e por questão, ao se aplicar esta metodologia está mostrada na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1** – Número de Indicadores das Questões das Provas.

<b>NÚMERO DE INDICADORES</b>	<b>QUESTÃO 1</b>	<b>QUESTÃO 2</b>
<b>PROVA 1</b>	<b>23</b>	<b>31</b>
<b>PROVA 2</b>	<b>20</b>	<b>24</b>
<b>PROVA 3</b>	<b>44</b>	<b>34</b>

Este procedimento de identificação e criação dos indicadores do entendimento do estudante foi realizado pela pesquisadora e examinado e validado pelos professores da disciplina.

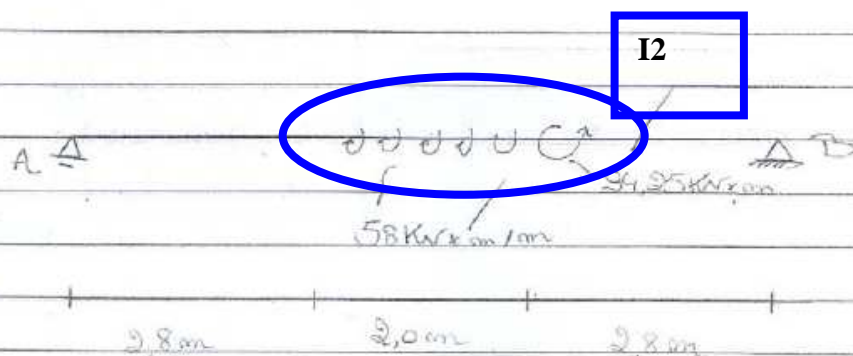
De posse deste conjunto de indicadores, cada prova de cada sujeito da amostra foi re-examinada pela pesquisadora e pelo professor da disciplina. Para as sub-tarefas realizadas de forma correta atribuiu-se o valor 1 e para as sub-tarefas realizadas de forma incorreta ou não realizada considerou-se o valor 0. As poucas discrepâncias entre as categorizações feitas pela pesquisadora e pelo professor foram resolvidas por discussão até se alcançar um consenso.

A Figura 6.4 mostra o trecho da solução dada por um estudante correspondente ao exemplo dado acima. Para este trecho da prova, todos os 8 indicadores foram associados ao valor 1. A Tabela 6.2 mostra o resultado deste conjunto de indicadores para todos os alunos da amostra. Os alunos que não compareceram à prova são considerados dados faltantes.

A lista completa com todos os indicadores de todas as provas está apresentada no Anexo 4.

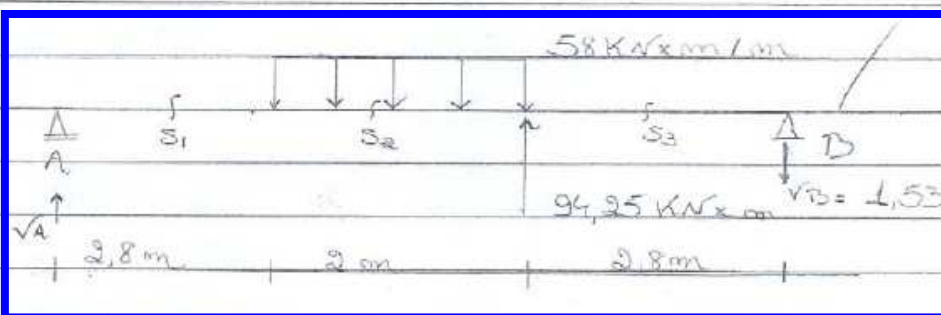
## 1ª Questão

## I Análise da Estrutura



$$T_{\text{carga}} = 40 \times 1,45 = 58 \text{ kN} \times \text{m/m}$$

$$T_{\text{balança}} = 65 \times 1,45 = 94,25 \text{ kN} \times \text{m}$$



$$\sum M_A = 0$$

$$+ 58 \times 2 \times 3,8 - 94,25 \times 4,8 - 7,6 V_B$$

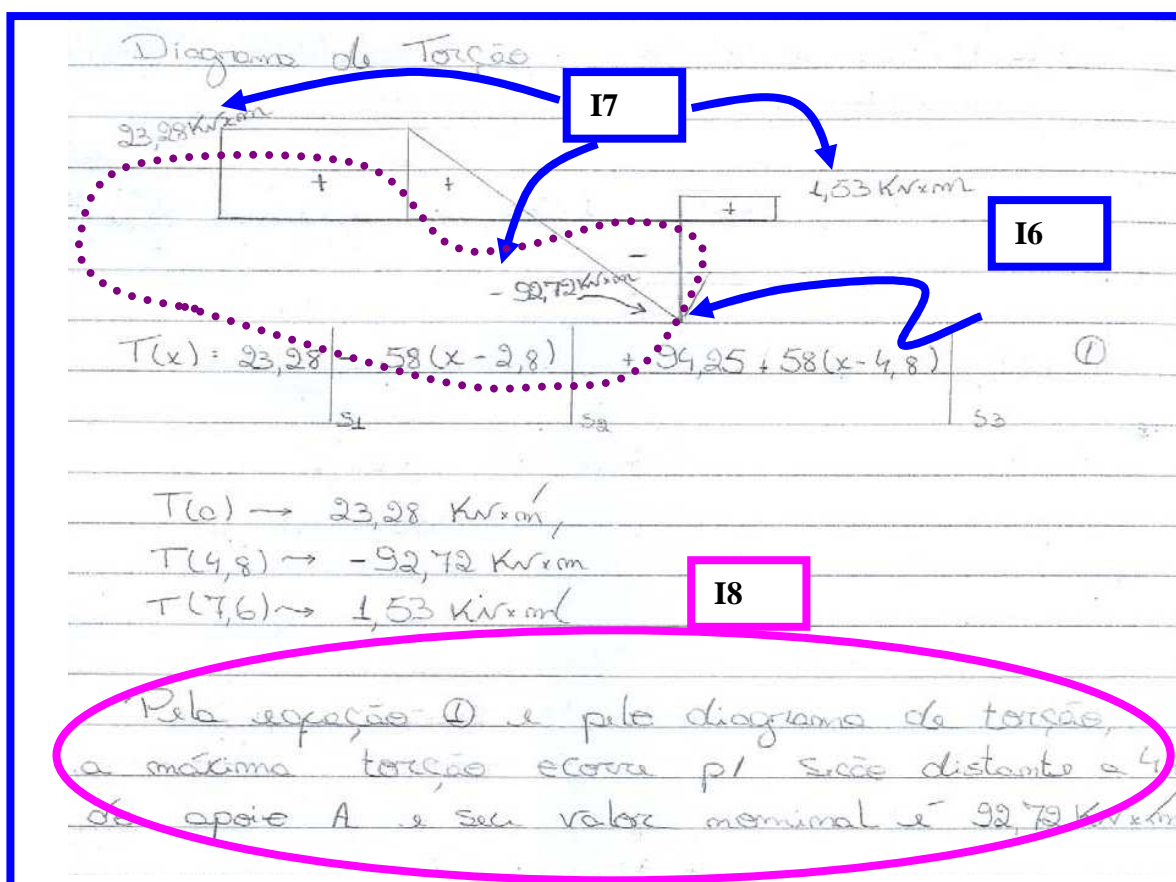
$$- 11,6 - 7,6 V_B = 0 \quad \therefore V_B = 11,6 \quad \therefore V_B = -1,53 \text{ kN} \times \text{m}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$V_A + V_B = 21,75 \text{ kN} \times \text{m} \quad \therefore V_A = 21,75 - V_B$$

$$V_A = 21,75 + 1,53 \quad \therefore V_A = 23,28 \text{ kN} \times \text{m}$$

Figura 6.4 – Solução apresentada por um estudante para o exemplo em questão



**Figura 6.4** (cont.) – Solução apresentada por um estudante para o exemplo em questão.

O professor da disciplina foi orientado a fazer um reexame das provas com esse conjunto de indicadores, anteriormente avaliado e validado por ele.

Os resultados encontrados na obtenção dos escores, tanto pela pesquisadora como pelo professor tiveram aproximadamente 90% de concordância. As divergências foram resolvidas por consenso de ambas as partes.

Portanto, cada sujeito participante do estudo teve seu desempenho transformado em uma soma de zeros (erros) e uns (acertos) obtidos nos indicadores. A Tabela 6.3 mostra o escore máximo por questão por prova.



**Tabela 6.3** – Escore máximo por questão por prova.

NÚMERO DE INDICADORES	QUESTÃO 1	ESCORE MÁX.	QUESTÃO 2	ESCORE MÁX.
PROVA 1	23	23	31	31
PROVA 2	20	20	24	24
PROVA 3	44	44	34	34

#### 6.2.4 – Identificação das competências envolvidas na disciplina Estruturas de Concreto Armado II

Pela natureza da disciplina Estruturas de Concreto Armado II era previsto a obtenção de múltiplos indicadores do entendimento dos temas tratados, como relatado na seção anterior e resumidos na Tabela 6.1. Outra maneira de se perceber esta multiplicidade é reexaminar o fluxo hierárquico e iterativo do processo de projeto mostrado da Figura 6.1.

Para cada prova ser um instrumento para mensuração válido e poder-se fazer inferências sobre as medidas é necessário que o conjunto de indicadores mensurem uma única competência. Isto equivale dizer que cada indicador deve-se relacionar a uma única competência avaliada. Para se certificar desta propriedade do instrumento, é necessário testar a sua unidimensionalidade. Como discutido no Capítulo 2, um recurso estatístico para a verificação da existência de unidimensionalidade em um conjunto de indicadores é a Análise Fatorial Exploratória.

Os escores obtidos pelos sujeitos em cada prova foram submetidos a uma Análise Fatorial Exploratória utilizando o pacote estatístico MPlus® (MUTHÉN & MUTHÉN, 1998–2007). Para uma Análise Fatorial Exploratória é necessário indicar o número de fatores a ser extraído. A decisão sobre o número 05 fatores a serem extraídos foi tomada em função do número de etapas do fluxo hierárquico e iterativo do processo de projeto mostrado da Figura 6.1.

Como os indicadores são variáveis dicotômicas (0 e 1), o software utiliza como estatística o método dos mínimos quadrados ponderados — WLSM. Detalhes e especificações sobre este método podem ser encontrados em:

*ASPAROUHOV, T. & MUTHÉN, B., Computationally efficient estimation of multilevel high-dimensional latent variable models, Proceedings of the 2007 Joint Statistical*

*Meetings, Section on Statistics in Epidemiology, Salt Lake City, Utah, Estados Unidos, 2007.*

Os critérios para a adequação do modelo são os seguintes (GARSON, 2010):

- 1) CFI (comparative fit index) varia entre 0 e 1. CFI perto de 1 indica um ótimo ajuste e valores acima de 0,90 é um bom ajuste.
- 2) TLI (Tucker-Lewis index) perto de 1 indica também um bom ajuste.
- 3) RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)  $\leq 0,05$  indica um bom modelo. Para um modelo considerado adequado, RMSEA dever ser  $\leq 0,08$ . Recentemente o valor limite para RMSEA  $\leq 0,06$  tem sido adotado para indicar um bom modelo.

A Tabela 6.4 apresenta o resultado das estatísticas de ajuste para as 3 provas. Como se pode ver, apenas para a Prova 3, a estatística RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) está 25% acima do limite. Entretanto, os outros índices estão dentro da categoria de ajuste ótimo. Por esta razão esta solução foi aceita como adequada a este estudo.

**Tabela 6.4** — Estatísticas de ajuste da AFE para as 3 provas.

	CFI	TLI	RMSEA
<b>PROVA 1</b>	<b>0,996</b>	<b>0,995</b>	<b>0,063</b>
<b>PROVA 2</b>	<b>0,999</b>	<b>0,998</b>	<b>0,030</b>
<b>PROVA 3</b>	<b>0,987</b>	<b>0,985</b>	<b>0,101</b>

Com o mapa de cargas fatoriais para cada uma das três provas, foi feita uma análise do padrão de agrupamento dos indicadores, O padrão exibido não foi de uma estrutura fatorial simples. Em alguns casos, um mesmo indicador aparecia em mais de um fator com carga fatorial relevante. Porém, desta análise pode-se perceber uma estrutura fatorial muito próxima à estrutura apresentada pelo fluxo das etapas de projeto discutidas anteriormente.

Com esta perspectiva o novo padrão exibiu três agrupamentos, cujos conjuntos de indicadores formam os domínios (específicos) de competências na disciplina de Estruturas de Concreto Armado II doravante denominados:

- 1) O Domínio ESTÁTICA agrupa os indicadores relativos à quantificação dos esforços desenvolvidos na estrutura provenientes das cargas que a solicitam – a análise estrutural.

- 2) O Domínio ALGORITMO é composto de indicadores específicos do contexto do Projeto de Estruturas de Concreto Armado – o dimensionamento e o detalhamento.
- 3) O Domínio MODELAGEM engloba os indicadores que necessitam do entendimento dos mecanismos de transferências das cargas que é peculiar a cada arranjo estrutural e, por conseguinte, fornece informações para os itens do Domínio Estática e do Domínio Algoritmo, Este domínio também agrupa os indicadores correspondentes às tarefas de análise e elaboração de croquis. Pode-se dizer que é o domínio que revela uma compreensão mais global, e ao mesmo tempo mais abstrata, do processo de projeto estrutural.

A Tabela 6.1 deve ser então modificada para mostrar este novo agrupamento dos indicadores, ou seja, não por prova, mas por domínio. A Tabela 6.5 resume este novo arranjo. No Anexo 4 estão apresentados os indicadores e o seu respectivo domínio diferenciados pelas cores marcadas na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5** – Distribuição dos Indicadores pelos Domínios de Competência.

PROVA	INDICADORES	COMPETÊNCIA
1	29	ALGORITMO
	11	ESTÁTICA
	14	MODELAGEM
2	29	ALGORITMO
	9	ESTÁTICA
	6	MODELAGEM
3	54	ALGORITMO
	7	ESTÁTICA
	17	MODELAGEM

### 6.2.5 – Obtenção das Medidas Rasch por Domínio

Até aqui foram apresentados os argumentos sobre a validade de conteúdo das provas aplicadas na Disciplina de Concreto Armado II como instrumentos de coleta de dados para a mensuração do desenvolvimento das competências dos estudantes. No passo seguinte foram construídos indicadores dicotômicos do entendimento para cada instrumento. Pela natureza da disciplina, foi necessária a submissão dos indicadores dicotômicos à Análise Fatorial Exploratória para se extrair fatores ou dimensões que são interpretados como competências desenvolvidas.



Entretanto ainda não se tem uma escala para a mensuração das competências. O que se tem são escores brutos, ou apenas escores, para cada dimensão em cada um dos instrumentos. Deve-se destacar que tais escores são resultados de meras observações, são resultados qualitativos, ainda que possam ser contados.

O escore bruto em um instrumento é uma medida ordinal. Na escala de escores dos instrumentos desta pesquisa pode-se apenas afirmar qual é menor e qual é maior, e não se pode garantir que as diferenças entre pares de valores equidistantes são as mesmas (WILLET & SINGER, 2003).

A obtenção de uma escala de mensuração é o próximo passo metodológico. Para tal, modelar-se-á o conjunto de dados brutos de cada dimensão de cada prova usando um modelo Rasch. Logo, para cada prova e para cada dimensão, será construída uma escala Rasch, ou simplesmente, medidas Rasch.

Por meio dessa análise, é possível calibrar a dificuldade dos itens (indicadores) e a competência dos indivíduos em um mesmo eixo contínuo linear, ao longo do qual os indivíduos são distribuídos.

O pressuposto básico do Modelo Rasch é que, quanto mais competência tiver uma pessoa, maior a sua probabilidade de receber escores altos em todos os itens, sejam eles fáceis ou difíceis. Por outro lado, quanto mais fácil o item, maior a probabilidade de qualquer pessoa receber escore alto nesse item. Quando todos os itens de uma escala atendem a essas expectativas, isto significa que o instrumento se enquadra no modelo de medida e a probabilidade é que indivíduos com maior proficiência obtenham escores mais altos que aqueles com menor competência. Esses princípios, no entanto, só se aplicam se o conjunto de itens medir uma competência unidimensional. A unidimensionalidade é, portanto, um dos pressupostos essenciais do modelo Rasch.

Inicialmente, cada sujeito tem um escore em cada prova. Porém devido às três competências (domínios específicos) exibidas pela Análise Fatorial, cada sujeito passou a ter três escores por prova. Portanto, para a mensuração das competências na Disciplina de Estruturas de Concreto Armado II foram construídas 3 escalas Rasch, uma por domínio, utilizando o software WINSTEPS®.

A Tabela 6.6 apresenta uma descrição geral dos dados para a análise Rasch: sujeitos, itens e escores mínimo e máximo em cada prova para cada competência (domínio).

**Tabela 6.6** - Descrição Geral dos Sujeitos, Itens e Escores de cada competência.

PROVA	SUJEITOS	ITENS	COMPETÊNCIA	MIN.	MÁX.
1	36	29	ALGORITMO	5	27
		11	ESTÁTICA	0	11
		10	MODELAGEM	2	10
2	39	29	ALGORITMO	6	26
		9	ESTÁTICA	2	9
		6	MODELAGEM	1	5
3	42	51	ALGORITMO	8	49
		7	ESTÁTICA	0	6
		17	MODELAGEM	0	17

### 6.2.6 – Procedimento de Equalização

Recordando as recomendações de WILLET & SINGER (2003) para se ter um estudo sobre mudanças educacionais efetivo, deve-se prever no mínimo três ondas de medidas, espaçadas de forma a ser mais significativa para os resultados esperados e devem ser contínuas e equivalentes em todas as ondas de medida.

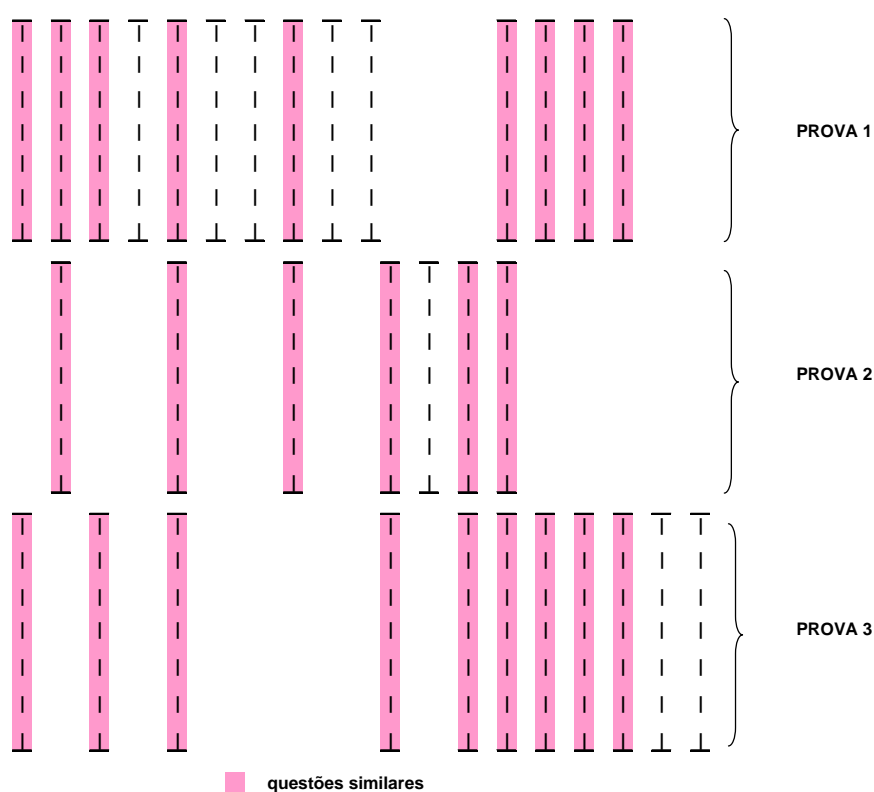
Neste estudo, como não houve nenhuma intervenção educacional, o espaçamento entre as três ondas foi determinado pela aplicação das provas. Além disto, não houve como repetir questões nas avaliações ou a mesma avaliação.

Provas destinadas a testar a mesma área sempre variam em dificuldade com o desenvolvimento dos conteúdos ao longo das disciplinas. Testes diferentes usualmente têm estruturas probabilísticas diferentes. Assim, a interpretação das medidas entre os testes não é igual às interpretações em cada prova. Esta é a razão da aplicação de um procedimento de equalização.

A equalização dos escores e das medidas por domínio por prova assegura que o progresso individual de cada estudante bem como comparações de desempenho entre eles sejam avaliadas por um mesmo critério (MEAD, 2008). Em outras palavras, uma medida obtida em um instrumento pode ser comparada com as medidas obtidas nos dois outros instrumentos.

Como as provas não possuem questões iguais, o método de equalização mais adequado a esta situação é o Teste de Equalização Virtual. Inicialmente, deve-se identificar pares e/ou trios de itens de conteúdo e dificuldades similares (LINACRE, 2009). Uma vez, identificados os itens similares entre as provas, eles são colocados um abaixo dos outros na matriz de dados. Os demais têm apenas obedecida a sua colocação na mesma ocasião de coleta. A Figura 6.5 exemplifica o formato geral da matriz de dados a ser equalizada após o reconhecimento dos itens similares.

Para cada um dos domínios este procedimento foi realizado. Como os itens similares estão em seqüência, o número de itens diminui. A Tabela 6.7 sumariza o número de itens resultantes em cada domínio após a nova disposição dos dados



**Figura 6.5** – Formato da matriz de dados a ser equalizada pelo Teste de Equalização Virtual.

**Tabela 6.7** - Número de itens por domínio após agrupamento por similaridade.

COMPETÊNCIA (DOMÍNIOS)	ITENS
ALGORITMO	73
ESTÁTICA	16
MODELAGEM	25

E em seguida, estes novos arranjos foram equalizados e ajustados ao modelo Rasch dicotômico.

### 6.2.7 – Escala Rasch da Competência em Estruturas de Concreto Armado II

A característica mais original do modelo Rasch é que ele permite que as pessoas e os itens sejam estimados independentemente uns dos outros. Desta forma pode-se escolher testar a invariância dos itens ao invés de ajustar as medidas das pessoas ou vice-versa. As Curvas Características dos Itens (CCI) são ferramentas valiosas para examinar o funcionamento dos itens (HAGQUIST, 2001, 2008).

Os Gráficos 6.1 a 6.3 mostram o resultado da análise Rasch para os domínios de competência: Estática, Modelagem e Algoritmo, respectivamente.

Em cada gráfico, estão representadas a Curva Característica dos Itens (CCI – Média) e as curvas UL–ICC e LL–ICC (limites superior e inferior, respectivamente) que caracterizam o intervalo de confiança ( $CCI \pm 1.4 \sigma$ ) para esta curva de valores esperados da competência no domínio correspondente.

Estão indicados também os escores observados médios nas três ocasiões (**W**) de medida, juntamente com as barras de erro que delimitam o intervalo de confiança de 83% dos escores médios. Em média, os itens estão bem ajustados, localizados bem próximos da ICC, ou os limites do intervalo de confiança da CCI englobam as barras de erro dos escores médios.

O intervalo de confiança de 83% foi escolhido baseado nos argumentos de GOLDSTEIN & HEALY (1995) de que é um equívoco estatístico supor que duas quantidades são significativamente diferentes no nível de 5% quando os intervalos de confiança de 95% não se sobrepõem. Para que o critério de não sobreposição seja

suficiente propõem que intervalo de confiança seja alterado para 83% ou  $\hat{Y} \pm 1.4 \sigma_{\hat{y}}$  para que se atinja o nível de significância de 5% (GOLDSTEIN & HEALY, 1995).

Com este resultado, foi possível fazer uma nova equalização dos itens e produzir uma escala da Competência em Concreto Armado II (CC2). Cada um dos domínios – seus itens – foram colocados agora um ao lado do outro. A Curva Característica está mostrada no Gráfico 6.4, assim como as médias das três ondas de medidas.

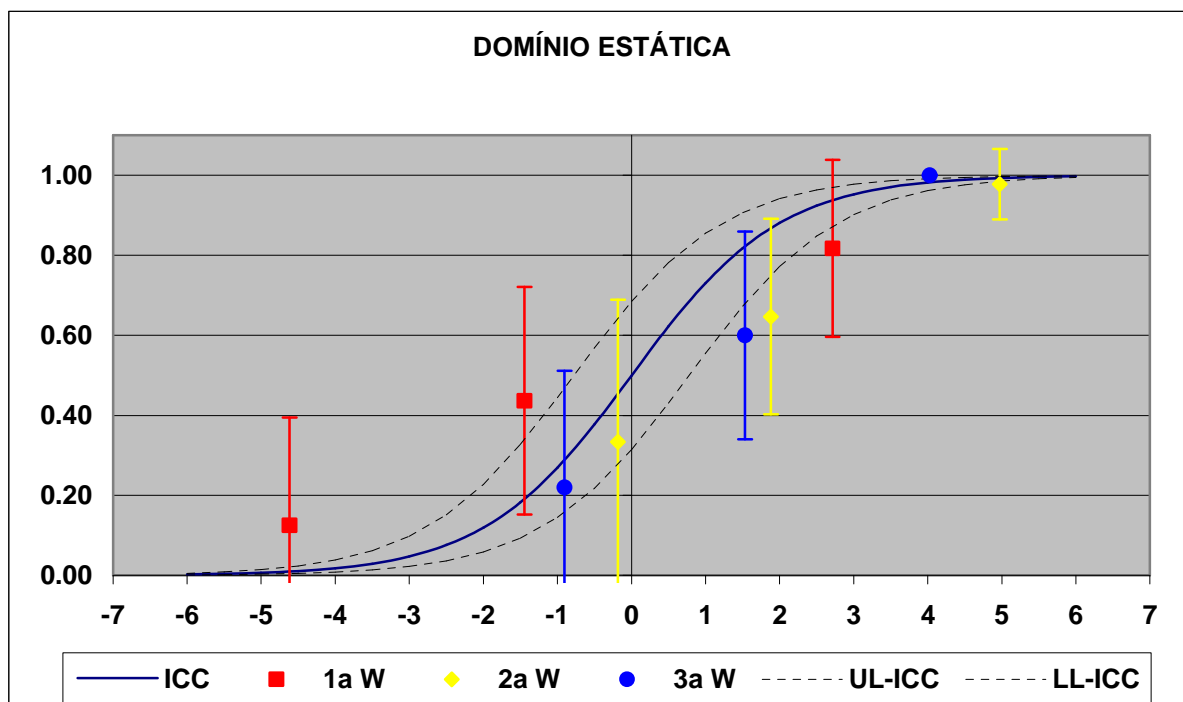
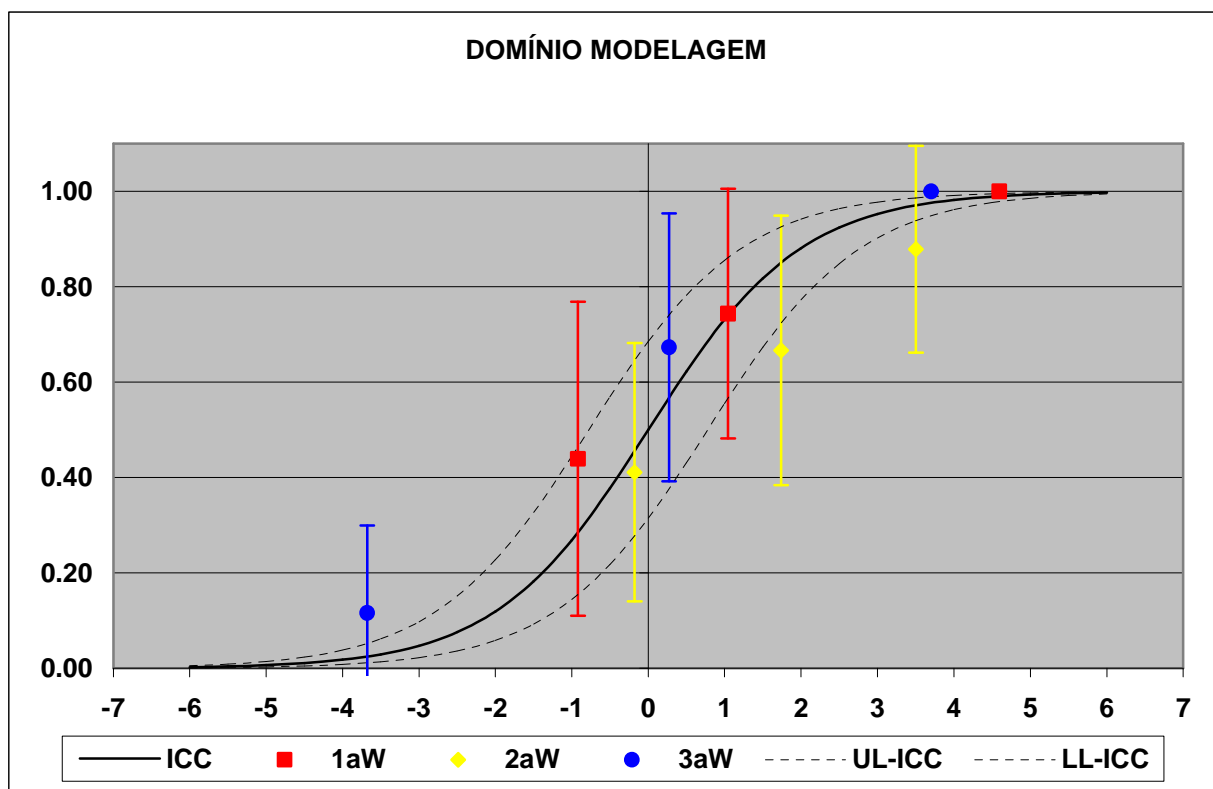
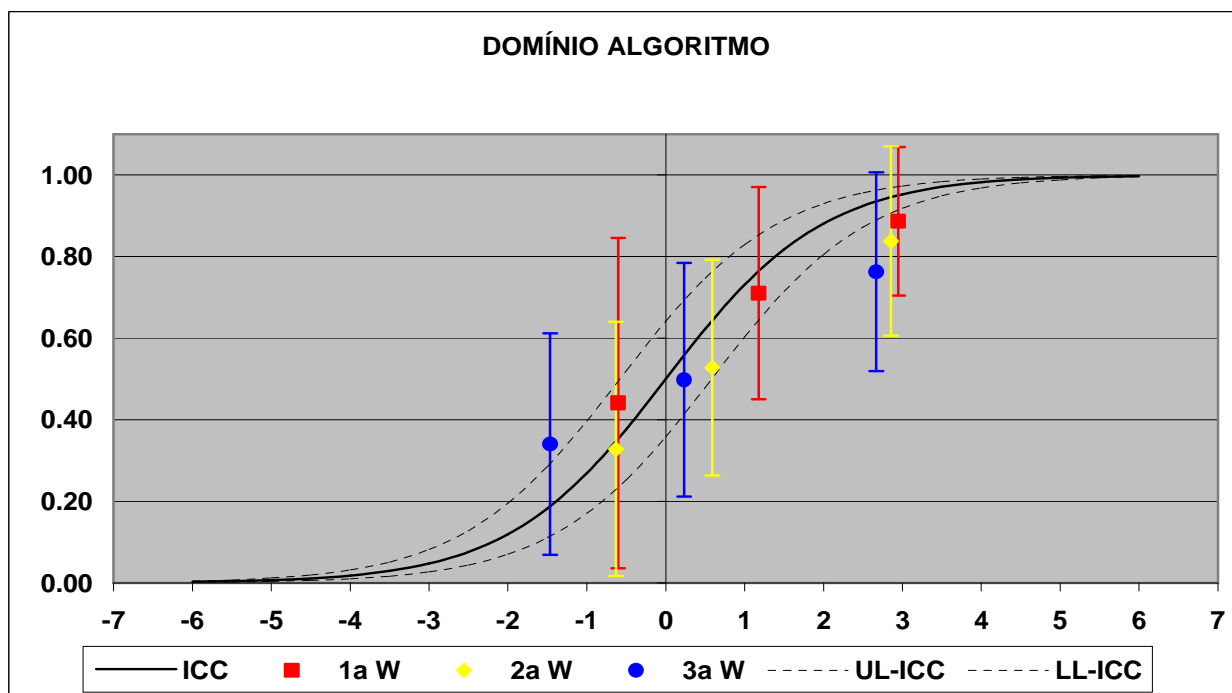


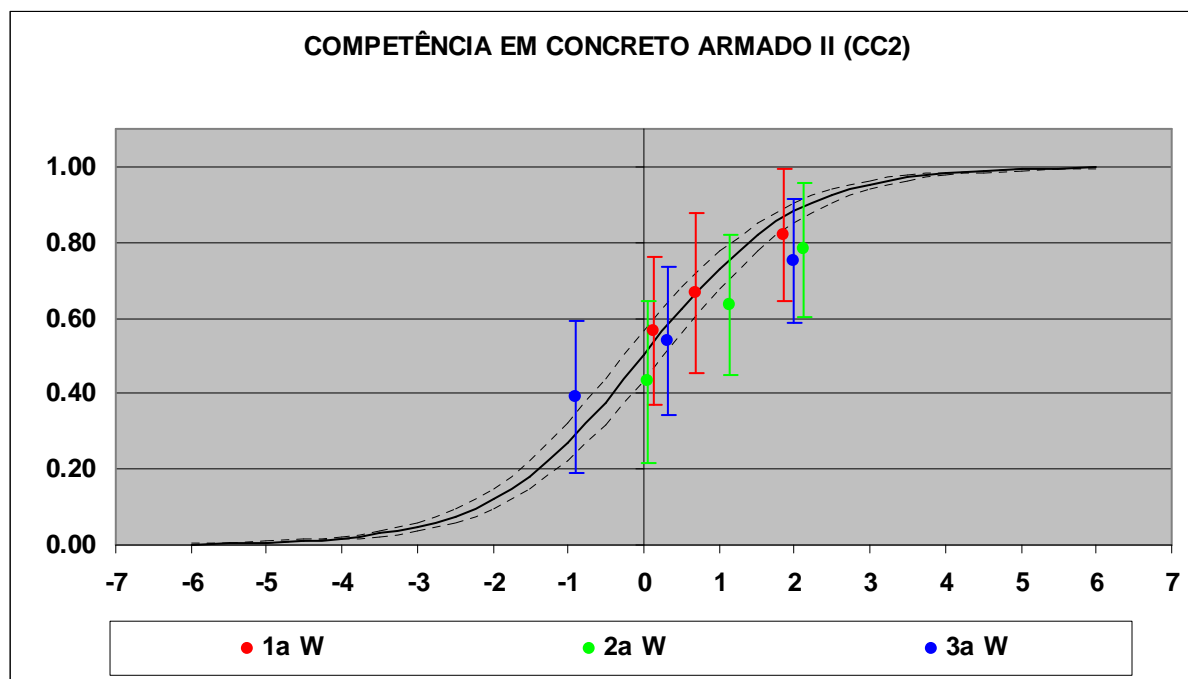
Gráfico 6.1 – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Estática.



**Gráfico 6.2** – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Modelagem.



**Gráfico 6.3** – Ajuste dos itens pertencentes ao domínio Algoritmo.



**Gráfico 6.4** – Ajuste dos itens pertencentes à escala da Competência em Concreto Armado II.

No processo de equalização e ajuste, alguns itens foram descartados. Porque não discriminavam as pessoas por serem ou itens muito difíceis ou muito fáceis. Alguns *links* foram ou parcialmente ou totalmente quebrados. A Tabela 6.8 resume estas modificações no número de itens por domínio de competência.

**Tabela 6.8** — Número de itens por domínio após equalização.

COMPETÊNCIA (DOMÍNIOS)	ITENS
ALGORITMO	65
ESTÁTICA	15
MODELAGEM	21
CC2	95

### 6.2.8 – A Evolução da Competência em Estruturas de Concreto Armado II

Quatro escalas de competência foram construídas com a análise Rasch. Os estudantes podem então ser descritos e comparados entre si por trajetórias de desenvolvimento das quatro competências ao longo do semestre de estudo da disciplina Estruturas de Concreto Armado II.

As trajetórias foram determinadas através do modelo hierárquico de 2 níveis, novamente pelo pacote estatístico MLwiN® (RASBASH *et al.*, 2009).

### 6.2.8.1 – Preditores

A Tabela 6.9 sintetiza as variáveis preditoras construídas (Capítulo 4) para a análise hierárquica das medidas das quatro competências ora definidas a partir de dados retirados do histórico escolar e do questionário sócio-econômico dos estudantes.

### 6.2.8.2 – Domínio Estática

Os dados do domínio Estática se ajustaram ao modelo representado pela Equação 3:

$$EST_{ij} = \beta_{0ij} + \beta_{1j} \text{Tempo}_{ij} + 3.654(1.605) \text{CRSG7}_j \\ - 4.860(1.837) \text{Tempo.CRSG7}_{ij} - 1.940(0.593) \text{Tempo.Cengaj}_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Onde } \beta_{0ij} = -3.983(1.301) \text{ e } \beta_{1j} = 8.443(1.564)$$

Este modelo estabelece que os alunos iniciam, em média, com a competência em Estática em  $-3.983$  logit e com uma taxa de crescimento de  $8.443$  logit. O efeito do **Tempo** é significativo em ambos parâmetros fixos ( $Z = 3.983/1.301$  e  $8.443/1.564$ ,  $p << 0.05$ ). Portanto, o estado inicial e a taxa de crescimento são significativamente diferentes de zero.

**Tabela 6.9** – Preditores para a trajetória das competências na Disciplina de Estruturas de Concreto Armado II.

<b>TEMPO</b>	NÚMERO DA AULA EM QUE SE DEU A AVALIAÇÃO, MENSURADO EM RELAÇÃO AO TOTAL DE AULAS DADAS.
<b>T2</b>	QUADRADO DA VARIÁVEL TEMPO.
<b>OCASIAO</b>	OCASIÃO EM QUE SE DEU A MEDIDA DO CONSTRUTO.
<b>CRSG</b>	CATEGORIZAÇÃO DO RSG. EM CADA SEMESTRE, SE $RSG >$ MÉDIA DO RSG NO SEMESTRE ENTÃO $CRSG = 1$ , CASO CONTRÁRIO $CRSG = 0$ .
<b>CRSG7</b>	CATEGORIZAÇÃO DE CRS7 NA OCASIÃO 7.
<b>CFREQ</b>	CATEGORIZAÇÃO DA FREQUÊNCIA.
<b>NPA</b>	CATEGORIZAÇÃO DA PRESSÃO PARA APROVAÇÃO.
<b>CENGAJ</b>	CATEGORIZAÇÃO DO ENGAJAMENTO: COMPLEXA = 1 OSCILATÓRIA = 0
<b>CCAIE</b>	CATEGORIZAÇÃO DA HISTÓRIA DE APROVAÇÃO EM ESTRUTURAS: MÉDIA DOS CONCEITOS $> 2.5 = 1$ E $< 2.5 = 0$ .
<b>CAL</b>	CATEGORIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM CÁLCULO EM DUAS CATEGORIAS.
<b>GEN</b>	GÊNERO: MASCULINO = 0; FEMININO = 1.
<b>C_IDADE</b>	CATEGORIZAÇÃO DA FAIXA ETÁRIA REGULAR. SE FAIXA ETÁRIA $> 24$ ENTÃO $C\_IDADE = 1$ CASO CONTRÁRIO $C\_IDADE = 0$ .
<b>SEM</b>	SEMESTRE DE ENTRADA NO CURSO.
<b>VEST</b>	FORMA DE ENTRADA NO CURSO.
<b>F_ECON</b>	FAIXA ECONÔMICA.
<b>EN_ME</b>	ENSINO MÉDIO.
<b>MOT_2</b>	POSSIBILIDADE DE INSERÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO.
<b>MOT_7</b>	INTERESSE PELA ÁREA.
<b>MAT_V</b>	NOTA NO VESTIBULAR DE MATEMÁTICA.
<b>FIS_V</b>	NOTA NO VESTIBULAR DE FÍSICA.



Os valores das variâncias e covariância obtidas para o nível 2 iguais a

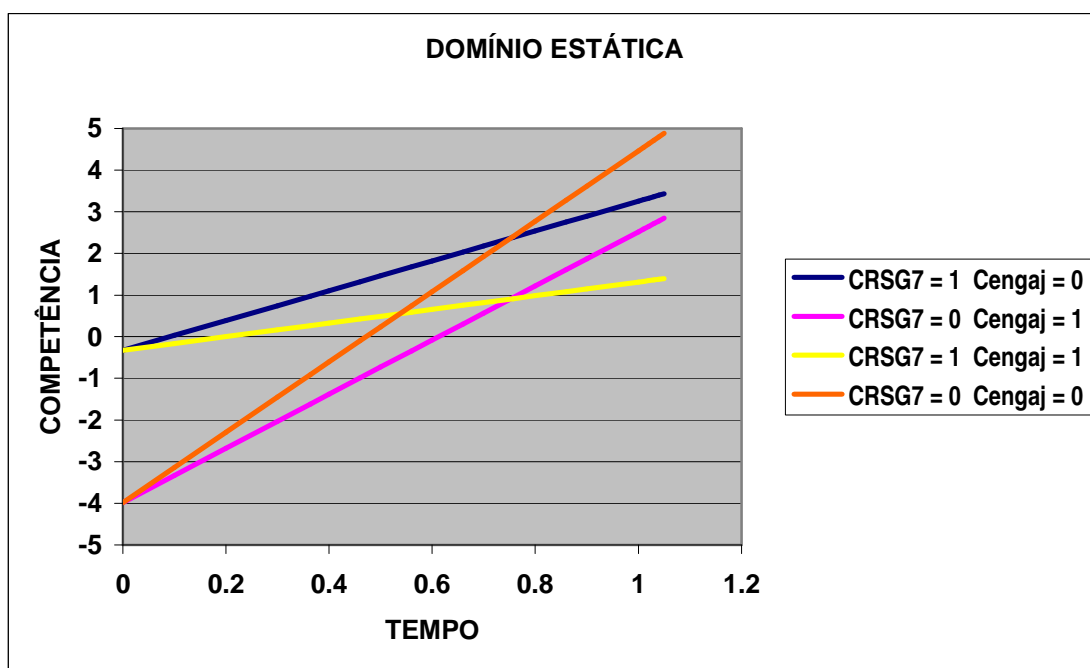
$$\begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 7.489(5.718) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = -6.144(6.579) & \sigma_1^2 = 4.281(8.245) \end{bmatrix}$$

mostram que a variância entre os sujeitos está sendo completamente explicada. O Gráfico 6.5 mostra as trajetórias que variam com a categorização dos preditores **CRSG7** e **Cengaj**. Os demais preditores não produziram resultados estatisticamente significativos no nível de 0.05.

A variância entre as ocasiões (nível 1) avaliada pelo modelo foi

$$\sigma_\varepsilon = 4.425(1.065)$$

indicando que o modelo não conseguiu explicá-la, mesmo com a introdução dos preditores **CRSG7** e **Cengaj**.



**Gráfico 6.5** – Trajetórias da Competência em Estática.

Do Gráfico 6.5 pode-se discernir que os quatro grupos de alunos desenvolvem a competência em Concreto Armado, mas com padrões diferentes.

Os estudantes que chegam na disciplina de Estruturas de Concreto Armado II registrando um rendimento semestral nas disciplinas da matéria Estruturas acima da média

e um alto engajamento (seqüência CRSG7 = 1 e Cengaj = 0) avançam em um patamar mais alto, mas não é o grupo que atinge a valor mais alto da competência. O grupo que mais se desenvolve é o grupo que chega na disciplina com o rendimento semestral global abaixo da média, mas se engaja no curso (seqüência CRSG7 = 0 e Cengaj = 0).

Os estudantes que possuem um rendimento semestral nas disciplinas da matéria Estruturas ao iniciar a disciplina abaixo da média e um baixo engajamento (seqüência CRSG7 = 0 e Cengaj = 1) avançam em um patamar mais baixo, mas no final do curso quase alcançam os primeiros.

Para os estudantes que possuem um rendimento semestral nas disciplinas da matéria Estruturas ao iniciar a disciplina acima da média e um baixo engajamento (seqüência CRSG7 = 1 e Cengaj = 1) são os que menos se desenvolvem.

### 6.2.8.3 – Domínio Algoritmo

O modelo hierárquico para o domínio Algoritmo é descrito pela Equação 4:

$$\begin{aligned} \text{ALG}_{ij} = & \beta_{0ij} + \beta_{1j} \text{Tempo}_{ij} - 0.920(0.456)\text{Tempo.Cengaj}_{ij} \\ & - 1.090(0.459) \text{Tempo.Npa}_{ij} - 1.158(0.607) \text{Tempo.Gen}_{ij} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Onde } \beta_{0ij} = 1.841(0.532) \text{ e } \beta_{1j} = 0.181(0.907)$$

Este modelo estabelece que os alunos iniciam, em média, com a competência em Algoritmo em 1.841 logit e com uma taxa de crescimento de 0.181 logit por semestre. Neste domínio de competência o efeito do **Tempo** também é significativo ( $Z = 1.841/0.532$ ) no estado inicial dos alunos representado pelo intercepto  $\beta_{0ij}$ . O mesmo não acontece com a taxa de crescimento  $\beta_{1j}$ . Em contrapartida, os preditores **Cengaj**, **Npa** e **Gen** que estão interagindo com o **Tempo**, estão modificando a taxa de crescimento significativamente. Todos os coeficientes dos preditores são estatisticamente significantes no nível de 0.05.

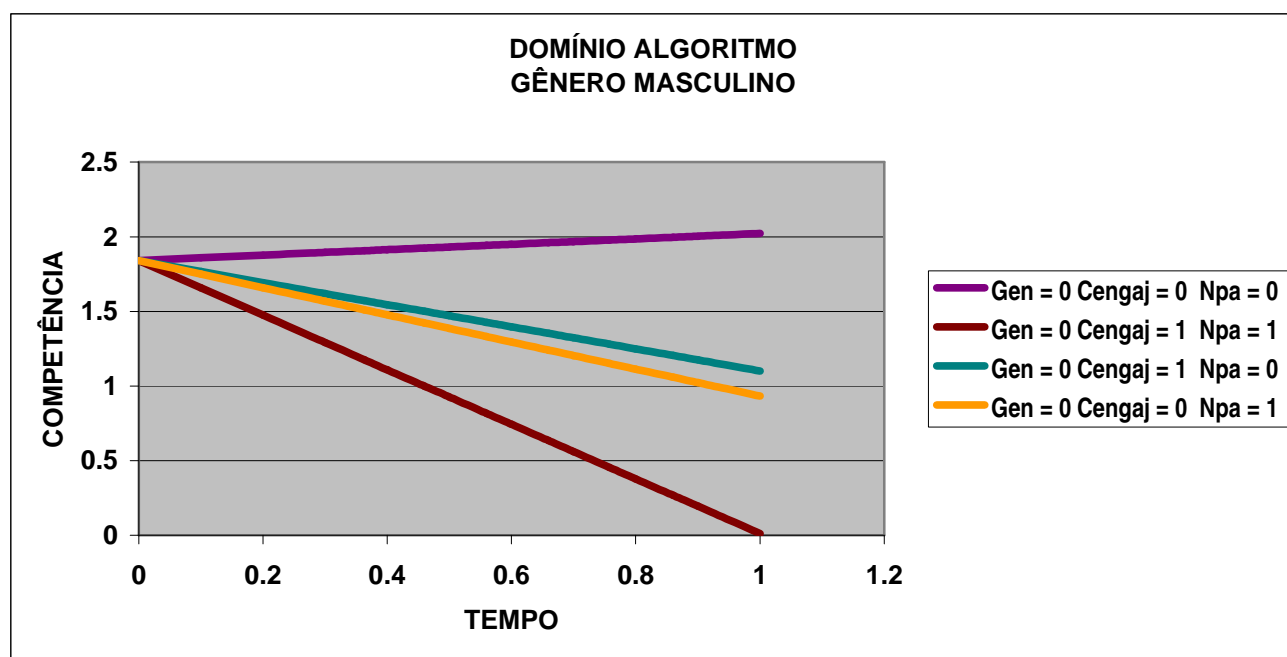
A estrutura da variância e covariância para o nível 2 foi:

$$\begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 3.961(2.560) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = -5.528(3.356) & \sigma_1^2 = 8.227(4.695) \end{bmatrix}$$

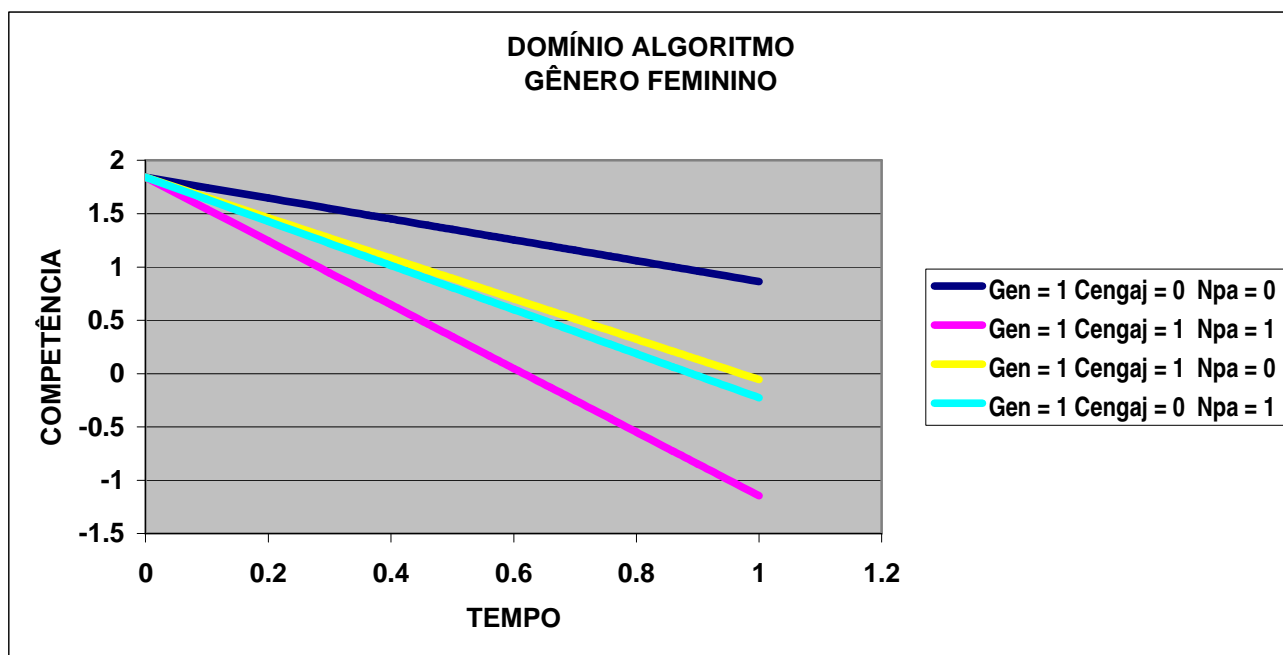
indicando que o modelo conseguiu explicá-las. Entretanto para o nível 1, ou seja, entre as ocasiões de medida a variância não foi totalmente explicada pelo modelo  $\sigma_{\epsilon} = 1.861(0.448)$ .

As trajetórias de desenvolvimento da competência em Algoritmo ao longo do semestre estão afetadas pelo preditor gênero. Portanto, a representação gráfica das trajetórias deste domínio está separada por gênero. O Gráfico 6.6 representa as trajetórias masculinas e o Gráfico 6.7 as femininas.

Os estudantes do gênero feminino têm trajetórias mais decrescentes que os estudantes do gênero masculino. A única trajetória com taxa de crescimento positiva é a do grupo masculino de alto engajamento e com baixa pressão de aprovação (Gráfico 6.6, seqüência Gen = 0, Cengaj = 0 Npa = 0).



**Gráfico 6.6** – Trajetórias da Competência em Algoritmo (Gen = 0).



**Gráfico 6.7** – Trajetórias da Competência em Algoritmo (Gen = 1).

#### 6.2.8.4 – Domínio Modelagem

O modelo hierárquico para o domínio de competência Modelagem é:

$$\begin{aligned} \text{MOD}_{ij} = & \beta_{0ij} + \beta_{1j} \text{Tempo}_{ij} + 1.053(0.480)\text{CCAECRS}G_j \\ & + 1.292(0.628)\text{Tempo.Cengaj}_{ij} - 1.346(0.633) \text{Tempo.C\_Idade}_{ij} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{Onde } \beta_{0ij} = 2.256(0.699) \text{ e } \beta_{1j} = -2.106(1.117)$$

Este modelo estabelece que os alunos iniciam, em média, com a competência em Modelagem em 2.256 logit e com uma taxa de crescimento de  $-2.106$  logit. Neste domínio de competência o efeito do **Tempo** também é significativo ( $Z = 2.256/0.699$ ) no estado inicial dos alunos representado pelo intercepto  $\beta_{0ij}$ . O mesmo não acontece com a taxa de crescimento  $\beta_{1j}$ . Em contrapartida, os preditores **Cengaj** e **C\_Idade** que estão interagindo com o **Tempo** modificam a taxa de crescimento significativamente. Todos os coeficientes dos preditores são estatisticamente significantes no nível de 0.05.

A estrutura da variância e covariância para o nível 2 neste modelo foi:

$$\begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 1.484(5.198) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = -3.631(6.858) & \sigma_1^2 = 6.997(9.818) \end{bmatrix}$$

indicando que o modelo conseguiu explicá-las. Entretanto para o nível 1, ou seja, a variância entre as ocasiões de medida não foi totalmente explicada pelo modelo  $\sigma_{\epsilon} = 5.214(1.240)$ .

As trajetórias de desenvolvimento deste domínio estão representadas nos Gráficos 6.8 (a) e 6.8 (b).

No Gráfico 6.8 (a) estão representadas as trajetórias dos estudantes que historicamente alcançaram um rendimento semestral acima da média, um alto índice de aprovação nas disciplinas da matéria Estruturas, um alto índice de engajamento durante o curso e estão com idade regular (seqüência CRSG = 1 e CCAE =1; Cengaj = 0 e C\_idade = 0) e o grupo com características opostas (seqüência CRSG = 0 e CCAE =0; Cengaj = 1 e C\_idade = 1). As trajetórias são paralelas e decrescentes. O estado final reflete menor decrescimento para o grupo que começa melhor.

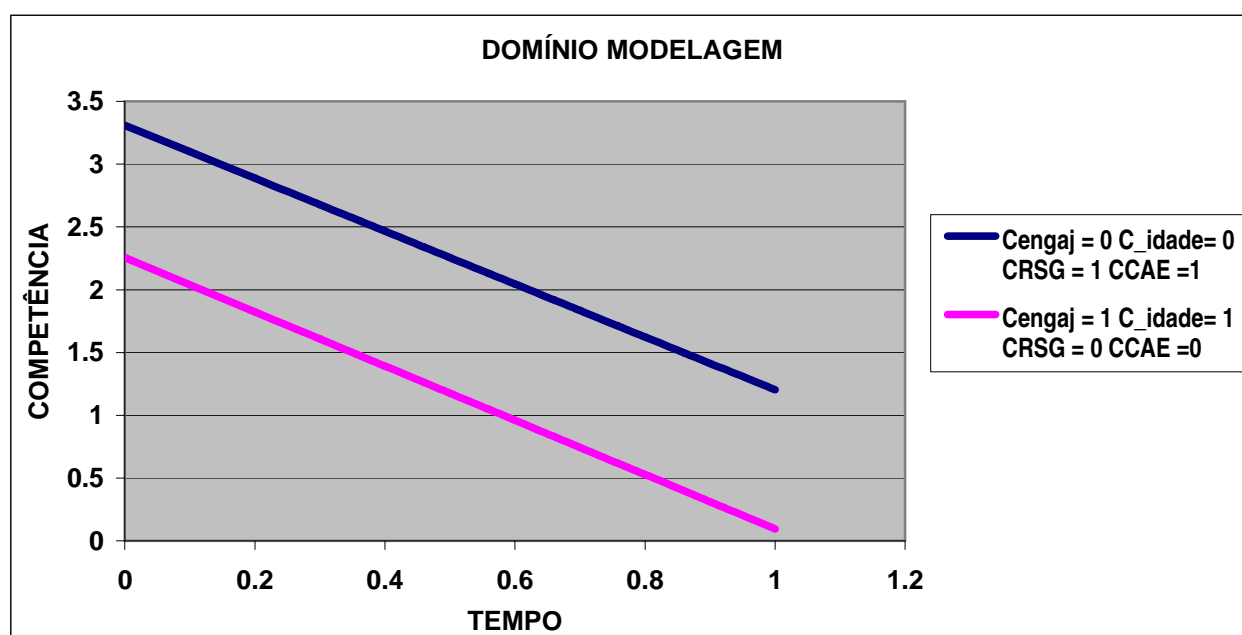


Gráfico 6.8 (a) – Trajetórias da Competência em Modelagem.

No Gráfico 6.8 (b) estão representadas as trajetórias dos estudantes que historicamente alcançaram um rendimento semestral acima da média, um baixo índice de aprovação nas disciplinas da matéria Estruturas, um baixo índice de engajamento durante o curso e estão com idade regular (seqüência CRSG = 1 e CCAE =0; Cengaj = 1 e C\_idade =

0) e o grupo com características opostas (seqüência CRSG = 0 e CCAE =1; Cengaj = 0 e C\_idade = 1). As trajetórias são divergentes e decrescentes. O estado final reflete menor decrescimento para o grupo que é menos engajado e que historicamente tem um baixo índice de aprovação nas disciplinas da matéria Estruturas.

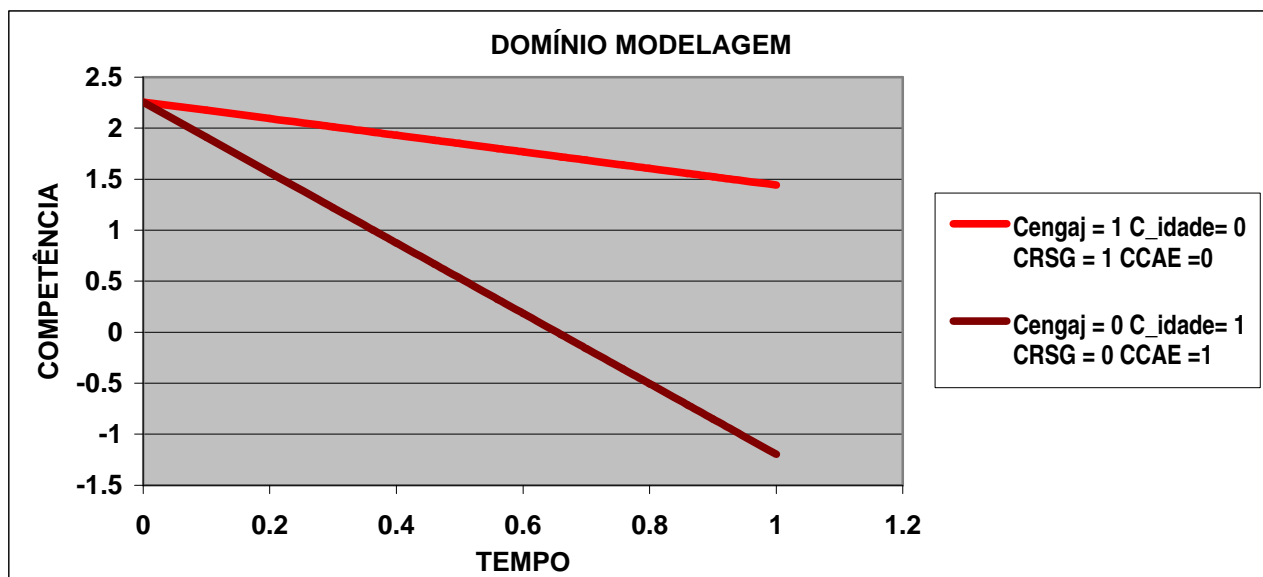


Gráfico 6.8 (b) – Trajetórias da Competência em Modelagem.

#### 6.2.8.5 – Competência em Estruturas de Concreto Armado II

WALTHER & RADCLIFFE (2007) argumentam que em sistemas tipicamente complexos, competência geral é mais que a soma de várias competências.

Os modelos hierárquicos ajustados para a Competência em Concreto Armado II (CC2), resultante das escalas dos 3 domínios de competência: Estática, Algoritmo e Modelagem revelam esta característica.

O modelo expresso pela Equação 6 contém como preditores os apenas os 3 domínios. O modelo expresso pelas Equações 7 é formado por preditores constantes da Tabela 6.9, que por seu turno, não tem a mesma formação nos domínios de per si (cf. Equações 3 a 5).

$$\begin{aligned}
 CC2_{ij} = & \beta_{0ij} + \beta_{1j} \text{Tempo}_{ij} + 0.185(0.010)EST_{ij} + 0.486(0.015)ALG_{ij} \\
 & + 0.184(0.009)MOD_{ij}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Onde  $\beta_{0ij} = -0.111(0.105)$  e  $\beta_{1j} = 0.037(0.128)$

$$\begin{aligned} \text{CC2}_{ij} = & \beta_{0ij} + \beta_{1j} \text{Tempo}_{ij} - 4.361(1.987)\text{T2}_{ij} + 0.384(0.158)\text{CRSG.CCAE}_j \\ & - 0.465(0.187)\text{Gen}_j - 0.363(0.150)\text{C\_idade} + 0.243(0.074) \text{Sem}_j \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Onde } \beta_{0ij} = -0.630(0.808) \text{ e } \beta_{1j} = 5.529(2.704)$$

O modelo para **CC2** descrito pela Equação 6 pode ser entendido como uma análise fatorial, onde o efeito do **Tempo** não é significativo, mas todos os 3 parâmetros correspondentes aos domínios são estatisticamente significativos. No tocante à estrutura de variância e covariância, esta não é completamente explicada:

$$\text{Nível 2} \begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 0.248(0.086) & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = -0.281(0.103) & \sigma_1^2 = 0.345(0.130) \end{bmatrix}$$

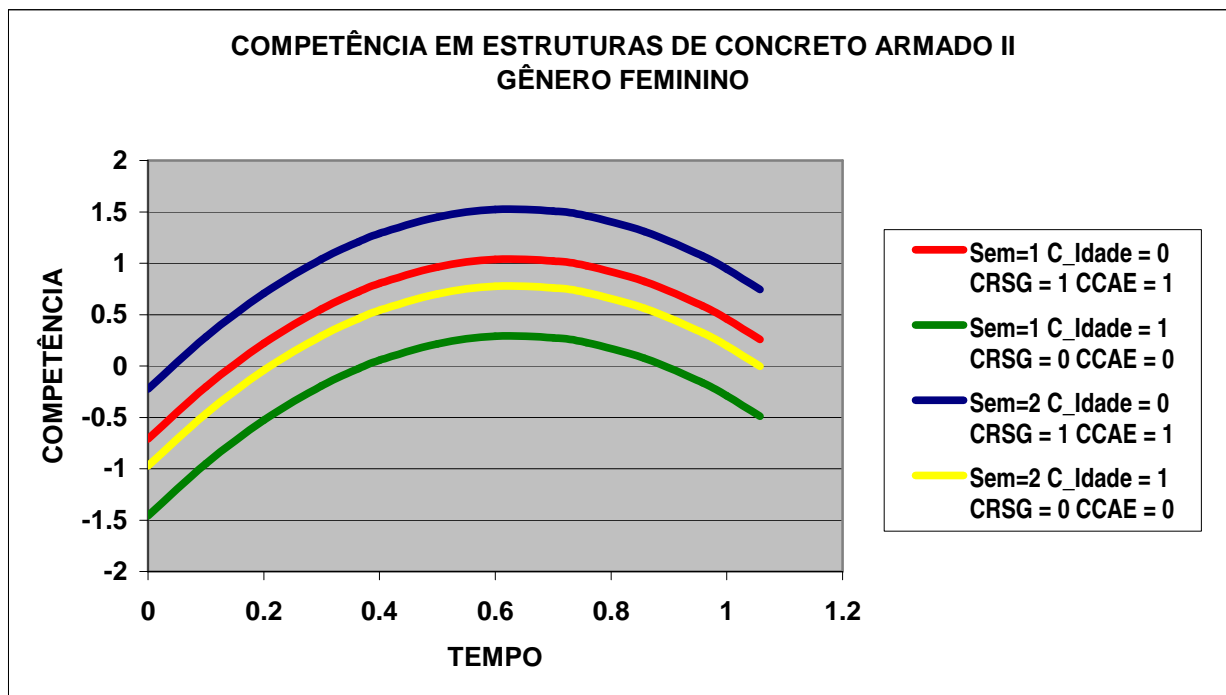
$$\text{Nível 1 } \sigma_{\epsilon} = 0.037(0.009)$$

No modelo expresso pela Equação 7, o intercepto é igual para todos ( $Z = -0.630/0.808$ ,  $p > 0.05$ ), entretanto os preditores atuam sobre este, fazendo com que estado inicial da competência em Estruturas de Concreto Armado II varie entre eles. O efeito do **Tempo** é significativo ( $Z = 5.529/2.704$ ,  $p \ll 0.05$ ). Portanto, a taxa de crescimento é significativamente diferente de zero. A trajetória não é linear e varia com o quadrado do **Tempo**. Todos os preditores têm efeito significativo e explicam a variância entre os estudantes, mas não entre as ocasiões, como pode ser visto na estrutura de variância e covariância:

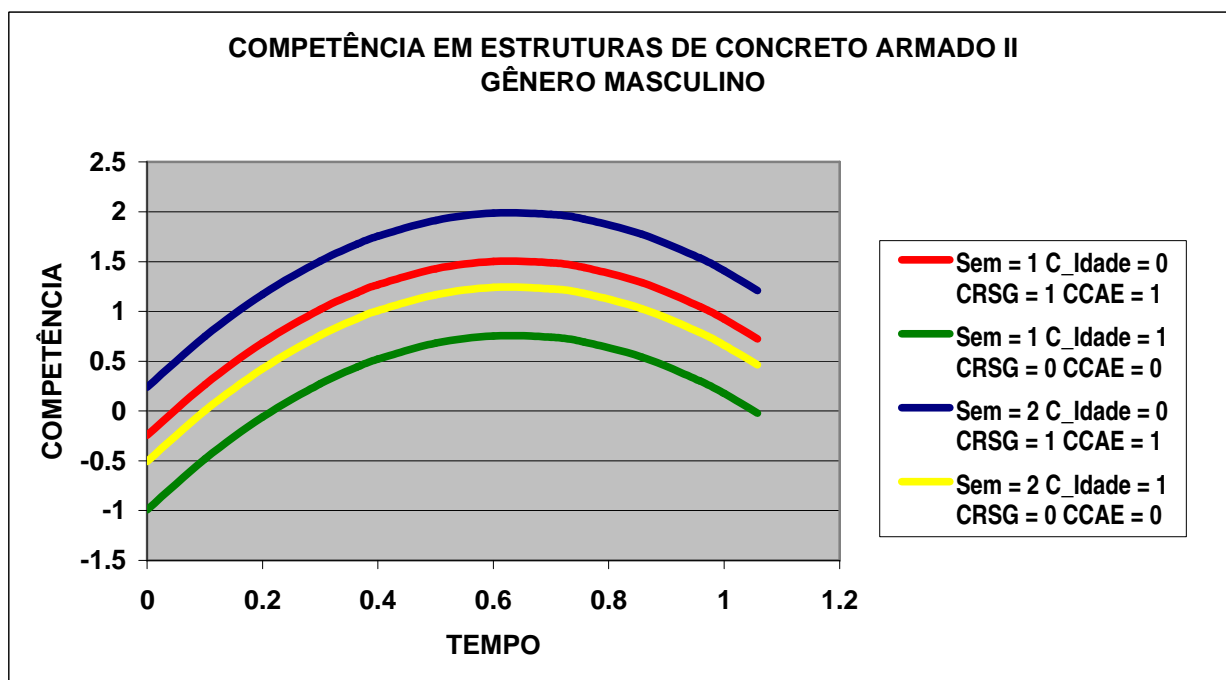
$$\text{Nível 2} \begin{bmatrix} \sigma_0^2 = 0 & \sigma_{10} \\ \sigma_{01} = -0.945(0.235) & \sigma_1^2 = 2.637(0.677) \end{bmatrix}$$

$$\text{Nível 1 } \sigma_{\epsilon} = 0.942(0.152)$$

O segundo modelo para **CC2** está representado nos Gráficos 6.9 e 6.10.



**Gráfico 6.9** – Trajetórias da Competência em Estruturas de Concreto Armado II (Gen = 1).



**Gráfico 6.10** – Trajetórias da Competência em Estruturas de Concreto Armado II (Gen = 0).

Os estudantes do gênero masculino estão aproximadamente com 0.5 logit de competência em Estruturas de Concreto Armado II superior aos estudantes do gênero feminino. O aspecto interessante é de que os estudantes com entrada no 2<sup>o</sup> semestre têm um desenvolvimento da competência superior aos da 1<sup>a</sup> entrada. Mas estes grupos possuem o RSG e a história de aprovação nas disciplinas da matéria de Estruturas acima da média exigida pela IES. E todos os grupos de alunos, independente do gênero, após 60% do



curso, têm um decréscimo nas medidas da Competência em Estruturas de Concreto Armado II.

### 6.2.9 – Discussão dos Resultados

Quatro escalas de competência foram construídas resultantes do caráter complexo das disciplinas da matéria Estruturas. Todas as escalas foram ajustadas ao modelo Rasch dicotômico (Gráficos 6.7 a 6.10). Portanto, cada uma delas mede uma única competência. Uma mensura a Competência em Concreto Armado II e as outras três mensuram competências específicas em Estática, em Algoritmo e em Modelagem.

O modelo hierárquico ajustado para a competência em ESTÁTICA mostrou-se significativo no nível de 0.05, tanto para o estado inicial quanto para a taxa de crescimento. Além disto, os preditores **Tempo**, **CRSG7** e **Cengaj** discriminaram a população em quatro grupos (Gráfico 6.5). Todos evoluíram na competência em Estática, mas com taxas diferentes. O grupo que mais se desenvolve é o grupo que chega na disciplina com o RGS abaixo da média, mas se engaja no curso e termina o semestre ultrapassando os que são engajados e tem um melhor RSG no início do curso. Isto pode indicar que este grupo tem consolidado a competência em Estática que é exigida na disciplina e por isto não se desenvolve mais. Percebe-se dos resultados que o engajamento é uma atitude importante no desenvolvimento das competências.

O domínio de competência ALGORITMO é representado por um modelo hierárquico onde o parâmetro do estado inicial é significativo no nível de 0.05. A taxa de crescimento é modificada pelos preditores **Cengaj**, **Npa** e **Gen** que interagem com o **Tempo** e que apresentam coeficientes significativos também no nível de 0.05. Estes preditores discriminam a população em quatro grupos por gênero. Entretanto, todas as trajetórias femininas têm taxa negativa superior às trajetória masculinas decrescentes. Apenas o grupo masculino de alto engajamento e baixa pressão de aprovação (Gráfico 6.6) possui um desenvolvimento positivo neste domínio.

Este resultado não era esperado para este domínio, pois seguir algoritmos é uma atividade cada vez mais comum na vida das pessoas. Voltamos aos escores obtidos nos indicadores deste domínio na re-análise das questões das provas (Anexo 4). A primeira

hipótese era de que os alunos não terminavam as questões e as trajetórias decrescentes eram decorrentes deste fato. Entretanto, esta hipótese não se confirmou.

A segunda hipótese cogitada para explicar tendência das trajetórias foi a complexidade e extensão dos algoritmos pertinentes ao conteúdo. Estas características dos algoritmos podem explicar os erros e esquecimento de algumas verificações. Entretanto, as informações que temos não permitem fazer esta afirmação. No nosso entender, teríamos que entrevistar os alunos para chegarmos a uma conclusão.

Para o domínio de competência MODELAGEM o modelo hierárquico apresenta o parâmetro do estado inicial significativo no nível 0.05 e o coeficiente da taxa de crescimento não é significativo. Entretanto os preditores **Cengaj** e **C\_Idade** que estão interagindo com o **Tempo** modificam a taxa de crescimento significativamente. Esta interação discrimina a população em quatro grupos (Gráficos 6.8). Todos os grupos apresentam trajetórias decrescentes.

Dois grupos apresentam trajetórias paralelas (Gráfico 6.8 a). Podemos classificá-los de grupo de alto desempenho (alto engajamento, idade regular, rendimento semestral global acima da média e alto índice de aprovação nas disciplinas de Estruturas) e o grupo de baixo desempenho que apresenta valores opostos para os seus preditores. O estado final do grupo de alto desempenho é superior ao de baixo desempenho.

Os dois outros grupos apresentam trajetórias decrescentes e divergentes. O estado final reflete menor decrescimento para o grupo que é menos engajado e que historicamente tem um baixo índice de aprovação nas disciplinas da matéria Estruturas (Gráfico 6.8 b).

Pode parecer contraditório, mas esta característica é descrita por FISCHER & BIDELELL (2006). Na evolução do desenvolvimento existem períodos de decrescimento (regressões) que antecedem à construção de uma nova competência. Portanto, esta constatação pode estar acontecendo com os grupos discriminados no domínio MODELAGEM. E em menor intensidade no grupo que é menos engajado e que historicamente tem um baixo índice de aprovação nas disciplinas da matéria Estruturas. Ou seja, enquanto os outros grupos podem estar próximos de entrar em um período de consolidação da competência em MODELAGEM, este último ainda está longe de alcançar este nível.

Entretanto, esta discussão é especulativa. Para termos mais evidências, os sujeitos investigados teriam que ser acompanhados nos dois semestres restantes de integralização do curso.

Estes resultados representam a especificidade comentada anteriormente neste capítulo em relação aos indicadores da competência que compõem este domínio. São os indicadores correspondentes às tarefas que exigem uma compreensão mais global, qualitativa e abstrata, do processo de projeto estrutural. Relembrando, uma competência mais global não é a soma de várias competências específicas (WALTHER & RADCLIFFE, 2007).

Os últimos resultados apresentados neste capítulo referem-se ao construto Competência em Concreto Armado II. O modelo hierárquico não é linear. O intercepto é igual para todos, entretanto os preditores atuam sobre este, fazendo com que estado inicial da competência em Estruturas de Concreto Armado II varie entre eles. A taxa de crescimento é significativamente diferente de zero.

Foram então discriminados oito grupos diferentes (quatro para o gênero feminino – Gráfico 6.9 e quatro para o masculino – Gráfico 6.10). Os estudantes do gênero masculino estão aproximadamente com 0.5 logit de competência em Estruturas de Concreto Armado II superior aos estudantes do gênero feminino. E todos os grupos de alunos, independente do gênero, após 60% do curso, têm um decréscimo nas medidas da Competência em Estruturas de Concreto Armado II.

Este decréscimo pode ter sido causado por vários aspectos da vida acadêmica, muitas atividades extra-curriculares, estágios. No tocante à disciplina investigada os assuntos tratados no último terço do curso são mais extensos com algoritmos mais complexos que os anteriores. Ressalta-se que estas razões são especulativas e resultantes de observações feitas ao longo dos anos da atividade docente. Este estudo não teve como operacionalizar outros meios de obtenção de novos dados, como entrevistar os estudantes, para esclarecer melhor alguns dos resultados obtidos.

## 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 – CONCLUSÕES

Esta pesquisa procurou responder as seguintes questões:

*Como os alunos graduandos de Engenharia Civil aprendem as disciplinas da matéria Estruturas?*

*Como os alunos graduandos de Engenharia Civil interligam os vários conteúdos ministrados nas diversas disciplinas da matéria Estruturas?*

Apesar de estarmos tratando de um mesmo construto, as questões olham a aprendizagem com granulometrias diferentes. A estratégia adotada para respondê-las foi tratar o construto aprendizagem como o resultado da mensuração dos indicadores do construto competência.

A primeira questão foi representada pela Competência Geral na Matéria Estruturas e teve o Rendimento Semestral Global como um segundo indicador da evolução da aprendizagem.

A segunda questão foi representada pelas Competências dos domínios de conteúdo identificados na disciplina de Estruturas de Concreto Armado II: Competência em Estática, Competência em Algoritmo e Competência em Modelagem.

O resultado encontrado para a evolução da Competência Geral na Matéria Estruturas com o modelo hierárquico mostrou que os alunos progridem positivamente a cada semestre.

Com relação à metodologia para análise dos dados empregada, o modelo hierárquico foi mais rico que o modelo de regressão simples. O modelo proporciona mostrar características individuais dos alunos de Engenharia. No caso específico da CGME, a motivação principal pela escolha do curso foi uma característica significativa na evolução da aprendizagem (1.178 logit no estado inicial dos alunos). E, para o RSG, a

idade e o iniciar as disciplinas de Estruturas influenciam negativamente o desenvolvimento da aprendizagem de uma maneira global no curso.

Os resultados encontrados para as competências específicas na disciplina de Concreto Armado II mostraram tendências com dinâmicas diferentes, tanto quantitativamente quanto qualitativamente. As trajetórias mostram tendências positivas na competência em Estática e negativas nas competências em Algoritmos e na Modelagem. Os modelos hierárquicos são ajustados por preditores diferentes e interações entre preditores diferentes. Isto é confirmado por FISCHER & BIDELELL (2006) quando relatam que "... pessoas funcionam em múltiplos níveis de desenvolvimento concorrentemente, mesmo em uma mesma situação".<sup>3</sup>

A tendência positiva no desenvolvimento da competência da estática e talvez até uma consolidação por parte de alguns alunos pode ser explicado pela aplicação sistemática dos conceitos aprendidos nas disciplinas subsequentes desde o 5º período.

A tendência negativa no desenvolvimento da competência da aplicação de algoritmos pode ser resultado da maneira como o conteúdo está distribuído na disciplina. Diminuir algum ou mesmo retirar e utilizar a carga horária das disciplinas optativas para complementar os assuntos de Estruturas de Concreto Armado pode ser uma estratégia eficaz para reverter esta tendência observada. Alguém disse "o menos é mais".

A tendência mostrada pelo modelo hierárquico no desenvolvimento da competência em Modelagem é para esta pesquisadora o resultado mais significativo. No meu entender esta competência tem que estar o presente durante todo o processo de projeto. Ela recebe informações das diversas competências, as interpreta e comanda novas ações.

As trajetórias descendentes podem não indicar necessariamente um resultado negativo. Elas podem, como mencionado no Capítulo 6, estar representando tendências anteriores à construção de uma nova competência.

Mas se olharmos para os resultados sobre a evolução da competência Modelagem e da evolução da CGME pode-se ver um outro cenário. O resultado de 33% na taxa de crescimento pode ser conseqüência de um desenvolvimento muito lento da competência Modelagem. Entretanto, esta conclusão é especulativa, apesar de alguns registros

---

<sup>3</sup> Tradução da pesquisadora.

semelhantes por pesquisadores estrangeiros (BOZZO & FENVES, 1994; STEIF, 2004 e 2005, MOLYNEAUX *et al.*, 2007) que defendem a necessidade do desenvolvimento de competências correlacionadas aos conceitos abstratos e concepção do sistema estrutural desde o início do curso. Na opinião deles o tratamento numérico nas disciplinas é alta encobrindo o comportamento estrutural que é um entendimento qualitativo de todo o projeto de uma estrutura.

## **7.2 – IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS**

### **7.2.1 – Educação Básica**

O interesse genuíno pela Engenharia Civil parece ter um efeito positivo importante sobre o desenvolvimento da aprendizagem nas disciplinas de Estrutura. Em média os estudantes progredem ao longo do curso. A Competência Geral na Matéria Estruturas mostrou esta tendência positiva a cada semestre do curso através do correlato MOT\_7.

Para despertar o interesse dos estudantes da educação básica pela Engenharia de Estruturas, poder-se-ia pensar no desenvolvimento de unidades de ensino sobre temas ligados às estruturas que sejam adequadas para alunos do ensino fundamental e do ensino médio.

Um exemplo desta abordagem é a iniciativa *Engineering Go For it!*<sup>4</sup> patrocinada pela American Society for Engineering Education (ASEE)<sup>5</sup>. O propósito é atrair estudantes, pais e professores para o mundo da engenharia e tecnologia.<sup>6</sup>

### **7.2.2 – Educação em Engenharia de Estruturas**

O correlato de engajamento construído a partir das notas dos trabalhos práticos influenciou positivamente todas as competências presentes na disciplina de Concreto Armado II. Isto nos indica que os estudantes se engajam nas aulas práticas.

---

<sup>4</sup> <https://shop.egfi-k12.org/>

<sup>5</sup> <http://www.asee.org>

<sup>6</sup> Tradução da pesquisadora.

Explorar mais esta metodologia de ensino utilizando laboratórios de ensaios de estruturas poderia aumentar ainda mais a influência do engajamento no desenvolvimento da aprendizagem sobre estruturas. Estas atividades práticas auxiliariam os estudantes a entender o comportamento estrutural, o que beneficiaria o domínio Modelagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABET, [www.abet.org](http://www.abet.org), [acesso em 03/01/2010].

ANDRICH, D., **Sufficiency and conditional estimation of person parameters in the polytomous Rasch model**, *Psychometrika*, vol. 75(2), 2010.

ARONS, A. B., **Student patterns of thinking and reasoning – Part one**, *The Physics Teacher*, n. 21, 1983, p. 576-581.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, 2007, 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**, 1980, 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**, 2007, 13 p.

ASPAROUHOV, T. & MUTHÉN, B., **Computationally efficient estimation of multilevel high-dimensional latent variable models**, *Proceedings of the 2007 Joint Statistical Meetings, Section on Statistics in Epidemiology*, Salt Lake City, Utah, 2007.

BOLOGNA PROCESS, The official Bologna Process website 2007-2010, <http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/about/> [acesso 14/06/2010].

BOYLE, M.H. & WILLMS, J.D., **Multilevel Modelling of Hierarchical Data in Developmental Studies**, *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 42 (1), 2001.

BOZZO, L.M., & FENVES, G.L., **Qualitative Reasoning and the Representation of Fundamental Principles in Structural Engineering**, *Research in Engineering Design*, vol. 6, 1994.

BRYK, A. S. & RAUDENBUSH, S. W., **Application of Hierarchical Linear Models to Assessing Change**, *Psychological Bulletin*, vol. 101 (1), 1987, p. 147-158.



CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CNE) & CAMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR (CES), **Parecer 1362/2001** – CNE/CES 1362/2001, <http://www.mec.gov.br/sesu/ftp/pareceres/136201Engenharia.doc>, [acesso em: 26/07/2005].

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CNE) & CAMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR (CES), **Resolução 11/2002** – CNE/CES 11/2002 <http://www.mec.gov.br/sesu/ftp/resolucao/1102Engenharia.doc>, [acesso em: 26/07/2005].

COHEN, J., COHEN, P., WEST, S. G. & AIKEN, L. S., **Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences**, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, New Jersey, 2003.

DeHAAN, R. L., **The Impending Revolution in Undergraduate Science Education**, Journal of Science Education and Technology, Vol. 14 (2), 2005, pp. 253-269.

DIRETRIZES CURRICULARES: PROPOSTAS DAS COMISSÕES NACIONAIS DO EXAME NACIONAL DE CURSOS, 1988, [www.dominiopublico.gov.br](http://www.dominiopublico.gov.br), [acesso 14/06/2010].

DOLLÁR A. & STEIF, P.S., **Reinventing the Teaching of Statics**, Proceedings of 2004 Annual Conference & Exposition, ASEE, Salt Lake City, UT, 2004.

ENADE: Exame Nacional de Desempenho de Estudantes <http://www.inep.gov.br/superior/enade/default.asp>, [acesso em 03/01/2010].

ENC: Exame Nacional de Cursos, <http://www.inep.gov.br/superior/provao/>, [acesso em 03/01/2010].

FISCHER, K.W., **A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills**, Psychological Review, 87, 1980.

FISCHER, K. W. & BIDELELL, T. R., **Dynamic Development of Action and Thought**, In Theoretical Models of Human Development - Handbook of Child Psychology, W. Damon & R. M. Lerner editors, vol. 1, Wiley, New York, 2006, pp. 313-399.

FREDRICKS, J. A., BLUMENFELD, P. C. & PARIS, A. H., **School Engagement: potential of the concept, state of the evidence**, Review of Educational Research, vol. 74 (1), 2004, pp. 59-109.

GARSON, <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/structur.htm> [acesso 11/02/2010].

GOLDSTEIN, H. & HEALY, M.J.R., **The Graphical Presentation of a Collection of Means**, Journal of the Royal Statistical Society, Series A (Statistics in Society), vol. 158 (1), 1995.

HAGQUIST, C., **Evaluating composite health measures using Rasch modelling: an illustrative example**, International Journal of Public Health, vol. 46(6), 2001.

HAGQUIST, C., **Psychometric Properties of the Psychosomatic Problems Scale: A Rasch Analysis on Adolescent Data**, Social Indicators Research, vol. 86 (3), 2008.

HAGQUIST, C., BRUCE, M. & GUSTAVSSON, J.P., **Using the Rasch model in nursing research: An introduction and illustrative example**, International Journal of Nursing Studies, vol. 46, 2009.

HAIR, J.F., BLACK, W.C., BABIN, B.J., ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L., **Análise Multivariada de Dados**, Bookman, Porto Alegre, 2009.

HESTENES, D., WELLS, M. & SWACKHAMER, G., **Force Concept Inventory**, The Physics Teacher, vol. 30, 1992, 141-158.

KOEPPEN, K., HARTIG, J., KLIEME, E., & LEUTNER, D., **Current Issues in Competence: Modeling and Assessment**, Journal of Psychology, vol. 216(2), 2008, 61-73.

LINACRE, J.M., Winsteps® (Version 3.69.0) **Rasch measurement computer program**. Beaverton, Oregon, 2009.

MAIA, E.V. & BORGES, O.N., **Uma Análise de Desempenho dos Alunos de Engenharia Civil e Mecânica da UFMG na Aplicação dos Conceitos Básicos da Área de Estruturas**, Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, São Paulo, 2005.

- MEAD, R. J., *A Rasch primer: the measurement theory of Georg Rasch*, Psychometrics services research memorandum 2008-001, Data Recognition Corporation, Maple Grove, Minnesota, 2008.
- MOLYNEAUX, T., SETUNGE, R. GRAVINA, R. & XIE, M., **An evaluation of learning of structural engineering concepts during the first two years of a project-based engineering degree**, European Journal of Engineering Education, vol. 32(1), 2007.
- MÓNICA, E., SÁNCHEZ-RUIZ, L.M., & SÁNCHEZ-DÍAZ, C., **Achieving Competence-Based Curriculum in Engineering Education in Spain**, Proceedings of the IEEE, vol. 97 (10), 2009.
- MOREIRA, A. F. & BORGES, O. **Interpretação de Representações Dinâmicas**, IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Bauru, SP, 2004.
- MUTHÉN, L.K. & MUTHÉN, B.O. (1998–2007), **Mplus User's Guide. Fifth Edition**, Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- NAKAU, O. S., & GRIMONI, J. A. B., **Formação de um Grupo de Estudos de Educação em Engenharia na Escola Politécnica da USP**, XXXIV COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Passo Fundo, RG, 2006.
- NRC. National Research Council. <http://www.nationalacademies.org/nrc/>  
[acesso em 26/07/2005].
- NAE. National Academy of Engineering. <http://www.nae.edu/>  
[acesso em 26/07/2005].
- NEWCOMER, J. & STEIF, P., **Gaining Insight into Student Thinking from their Explanations of Concept Questions**, 1<sup>st</sup> ASEE International Conference on Research in Engineering Education, Honolulu, 2007.
- RASBASH, J., STEELE, F., BROWNE, W.J. & GOLDSTEIN, H., **A User's Guide to MlwiN – v2.10**, Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol, 2009.
- RAUDENBUSH, S.W., **Comparing Personal Trajectories and Drawing Causal Inferences from Longitudinal Data**, Annual Review of Psychology, vol. 52, 2001.

- RICHARDSON, J., MORGAN, J. & EVANS, D., **Development of an Engineering Strength of Material Concept Inventory Assessment Instrument**, 31<sup>st</sup> ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Reno, NV, 2001.
- ROBINSON, M.A., SPARROW, P.R., CLEGG, C. & BIRDI, K., **Design engineering competencies: future requirements and predicted changes in the forthcoming decade**, Design Studies, Vol. 26, 2005, pp. 123–153.
- ROGOSA, D., BRANDT, D. & ZIMOWSKI, M., **A Growth Curve Approach to the Measurement of Change**, Psychological Bulletin, vol. 92 (3), 1982, pp. 726-748.
- SALMON, C. G. & JOHNSON, J. E., **Steel Structures: Design and Behavior**, Haper & Row Publishers, New York, 1980.
- SALVADORI, M. & HELLER. R., **Structure in Architecture**, Prentice-Hall, New Jersey, 1963.
- SCHÖN, D.A., **Educando O Profissional Reflexivo – Um novo Design para e Ensino e a Aprendizagem**, ARTMED, Porto Alegre, 1987.
- SCOTT, D., **Developing Statics Knowledge Inventories**, 34<sup>th</sup> ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 2004.
- SHUMAN, L.J., BESTERFIELD-SACRE, M., MCGOURTY, J., **The ABET “Professional Skills” – Can They Be Taught? Can They Be Assessed?**, Journal of Engineering Education, vol. 94(1), 2005.
- SPECIAL REPORT: **The Engineering Education Research Colloquies**, Journal of Engineering Education, vol. 95 (4), 2006 (a).
- SPECIAL REPORT: **The Research Agenda for the New Discipline of Engineering Education**. Journal of Engineering Education, vol. 95 (4), 2006 (b).
- STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES (SPSS), versão 16.0,  
[www.spss.com](http://www.spss.com)
- STEIF, P., **Initial Data from a Statics Concept Inventory**, Proceedings of The American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, 2004.

- STEIF, P., **Psychometric Analysis of a Statics Concept Inventory and Its Use as a Formative Assessment Tool**, Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, 2005.
- TROCHIN, W.M.K., **Research Methods Knowledge Base**, <http://www.socialresearchmethods.net/> Last Revised: 10/20/2006, [acesso em 03/01/2010].
- WALTHER, J. & RADCLIFFE, D.F., **The competence dilemma in engineering education: Moving beyond simple graduate attribute mapping**, Australasian Journal of Engineering Education, vol. 13(1), (2007).
- WEST, H. H., **Analysis of Structures: An Integration of Classical and Modern Methods**, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- WESTERA, W., **Competences in education: a confusion of tongues**, Journal of Curriculum Studies, vol. 33 (1), 2001, pp. 75–88
- WILLET, J. B. & SINGER, J. D., **Applied longitudinal data analysis: modeling change and event occurrence**, Oxford University Press, New York, 2003.
- WRIGHT, B.D. & LINACRE, J. M., **Observations are Always Ordinal; Measurements, however, Must be Interval**, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol.70, 1989.
- WU, M. & ADAMS, R., **Applying the Rasch model to psycho-social measurement: A practical approach**, Educational Measurement Solutions, Melbourne, 2007.
- YAN, Z., **Dynamic Analysis of Micro development in Learning a Computer Program**, Thesis, Graduate School of Education of Harvard University, 2000.
- YAN, Z., & FISCHER, K. W., **Always under construction: Dynamic variations in adult cognitive development**, Human Development, vol. 45, 2002.
- ZVOCH, K. & STEVENS, J.J., **Sample Exclusion and Student Attrition Effects in the Longitudinal Study of Middle School Mathematics Performance**, Educational Assessment, 10(2), 2005, pp.105–123.