UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

CESAR BALLAROTTI

ENSINO E APRENDIZAGEM FENOMENOGRÁFICA
A APREENSÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE SISTEMAS
ESTRUTURAIS NO CURSO DE ARQUITETURA E
URBANISMO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

São Carlos
2015

CESAR BALLAROTTI

ENSINO E APRENDIZAGEM FENOMENOGRÁFICA
A APREENSÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE SISTEMAS
ESTRUTURAIS NO CURSO DE ARQUITETURA E
URBANISMO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

Tese apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – Campus São Carlos, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes

Versão corrigida

São Carlos
2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desse trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos.

B189

Ballarotti, Cesar.

Ensino e aprendizagem fenomenográfica: a apreensão de conceitos básicos de sistemas estruturais no curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Londrina/ Cesar Ballarotti; orientador João Marcos de Almeida Lopes. São Carlos, 2015.

194 f. : il.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de concentração em Teoria e História de Arquitetura e do Urbanismo – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Aprendizagem de estruturas. 2. Curso de Arquitetura. 3. Fenomenografia. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Engenheiro Civil Cesar Ballarotti

Título da dissertação: "Ensino e aprendizagem fenomenográfica: a apreensão de conceitos básicos de sistemas estruturais no curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Londrina"

Data da defesa: 22/02/2016

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes (Orientador)
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

aprovado

Prof. Dr. Márcio Minto Fabrício
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

APROVADO

Prof. Dr. Miguel Luiz Contani
(Universidade Estadual de Londrina)

aprovado

Prof. Vitor Amaral Lotufo
(Especialista)

aprovado

Prof. Dr. Antônio Alves Dias
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Coordenadora e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Profa. Dra. Cíbele Saliba Rizek.

Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre permitiu superar minhas limitações e retomar com entusiasmo as etapas do trabalho dessa tese;

A minha esposa Wanda e ao meu filho Maurício pelo apoio e incentivo no desenvolvimento desse trabalho;

Aos meus pais Onelio e Ernestina por sempre acreditarem nos meus projetos e estudos;

À profa. Darci Nampo (in memoriam) com quem iniciamos essa jornada dos estudos do ensino e aprendizagem de estruturas na Arquitetura;

Ao prof. Miguel Luiz Contani pelo apoio, pelo incentivo e o pelo tempo dedicado nas reuniões e estudos da Fenomenografia no contexto da Arquitetura da Uel;

Ao prof. João Marcos de Almeida Lopes pelo interesse, incentivo e apoio nesse trabalho desenvolvido no IAU da USP pelo DINTER/UEM/Uel;

Aos membros da banca examinadora pelo tempo e interesse dedicados às leituras e discussões dos conteúdos;

Ao prof. Geraldo Gomes Serra que contribui com a vinda da Fenomenografia para um evento da USP em 2006;

Ao prof. Ivano de Cunto pelo interesse no tema do trabalho e participação no desenvolvimento de estudos e desenhos de sistemas estruturais.

Ao Departamento de Estruturas e ao CTU da UEL pelo apoio e pela estrutura oferecida para o desenvolvimento dos experimentos desse trabalho.

Às demais pessoas e entidades não citadas aqui que colaboraram para a realização desse trabalho e quem sem elas isso não seria possível.

RESUMO

BALLAROTTI, C. Ensino e aprendizagem fenomenográfica: a apreensão de conceitos básicos de sistemas estruturais no curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Londrina. 2015. 194 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

O contexto de aprendizagem de sistemas estruturais – tal como acontece também nas demais disciplinas – ao centrar-se no conhecimento do professor (*teacher-centred education*), costuma predispor os alunos a uma resposta caracterizadamente “reprodutivista”. Esta tese tem como objetivo investigar o processo perceptivo de alunos de arquitetura diante do fenômeno estrutural e identificar como esses estudantes se tornam aptos a conceber e conceituar o mecanismo essencial de cada sistema estrutural ao associá-lo aos cinco parâmetros básicos (três vetores-força e dois braços-alavanca). A pesquisa consiste em uma experiência de aprendizagem em que puderam ser observadas as diferentes maneiras pelas quais os alunos identificam e descrevem os parâmetros estruturais e como interpretam o fenômeno estrutural. Com isso, evidencia-se a aptidão que obtiveram para definir e descrever *estruturas* a partir do seu próprio entendimento, numa atitude de maior autonomia, com habilidade para corrigir suas percepções e competência para construir a própria compreensão. A coleta de dados foi realizada numa experiência real de sala de aula, conduzida ao longo de um semestre letivo, com alunos da disciplina de Sistemas Estruturais do 2º ano do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (UEL). A metodologia tem por base a experiência realizada por Prosser *et al.* (1989; 1994; 1996; 2000; 2008) e está fundamentada nas abordagens da Fenomenografia. O procedimento se desenvolve a partir da observação do nível de adequação (alto, médio, baixo) das relações que o aluno estabelece (*o quê e como*) entre os elementos estruturais básicos mencionados. Tendo em vista a reconhecida dificuldade (de alunos em aprender e de professores em “ensinar a aprender”) com os sistemas estruturais em cursos de graduação em arquitetura e urbanismo, a tese que aqui se defende é de que, à medida que essa consciência é adquirida na interação e retroalimentada pelo docente “pesquisador” ao aluno, é possível a constituição de uma conduta pedagógica de maior efeito.

Palavras-chave: Aprendizagem de estruturas. Curso de arquitetura. Fenomenografia.

ABSTRACT

BALLAROTTI, C. Phenomenographic teaching and learning: understanding the basic concepts of structural systems in the architecture undergraduate course at State University of Londrina. 2015. 194 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

The learning context concerning structural systems - as also happens in other disciplines - if focused exclusively on the teacher's knowledge (teacher-centered education), often predispose students to offer answers of a predictably "reproducible" type. This thesis aims to investigate the perceptive process of the structural phenomenon by architecture undergraduates, and identify *how* these students become able to conceive and conceptualize the essential mechanism of each structural system, while linking them to the five basic parameters (three force vectors and two lever arms). The research consists of a learning experience to observe the different ways students identify and describe the structural parameters and *how* they interpret the structural phenomenon. Evidence shows the students' ability to define and describe structures out of their own understanding, in an expanded attitude of autonomy, with ability to correct their own perceptions and skills to build their particular understanding. Data come from a live classroom activity, conducted all along a semester, with the participation of students in the discipline of structural systems of the 2nd year of the Architecture and Urbanism Course at the State University of Londrina (UEL). The methodology is based on the experiment conducted by Prosser *et al.* (1989; 1994; 1996; 2000; 2008), and grounded in the approaches of Phenomenography. The procedure is developed in the basis of the observation of adequacy levels (high, medium, low) in the relations each student establishes (*what* and *how*) between the aforementioned basic structural elements. Considering the recognized difficulty (of students to learn and teachers to "teach how to learn") with the structural systems in Architecture and Urbanism, the thesis is that as long as such consciousness is gained in the interaction and fueled to student by the teaching "researcher", it is possible to reach a more effective pedagogical conduct.

Keywords: Learning structures. Architecture undergraduate course. Phenomenography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Capa do livro intitulado “Compreendendo as Estruturas: análise, materiais, projeto” de D. Seward, que traz os cinco elementos (P, V, H, L e h) representados no desenho da ponte.....	16
Figura 2.1 - Aspectos fundamentais da Aprendizagem	44
Figura 2.2 - Aspectos estruturais e referenciais da aprendizagem.....	45
Figura 2.3 - Definindo Fenomenografia	47
Figura 2.4 - A experiência de aprender	50
Figura 3.1 - Delineamento da Pesquisa.....	60
Figura 3.2 - Etapas do programa da disciplina	65
Figura 3.3- TED – Tabela Estudo Dirigido.....	67
Figura 3.4- Planilha de sequência de tarefas de (1 ^o ao 5 ^o)	69
Figura 3.5 - R - Registro Estrutural em SC, E e M.....	69
Figura 3.6 - R - Estudante XX - interpretação de CE, M e E	70
Figura 3.7 - TRA - Guia de Orientação dos Estudantes sobre CE, E e M.....	72
Figura 3.8 - TRA - interpretação aluno sobre CE, E e M	72
Figura 3.9 - TRA - Guia de Orientação do Professor sobre CE, E e M	73
Figura 3.10- Vetor força (P, V e H) e braço de alavanca (L e h)	75
Figura 4.1 - Tensões principais na viga em balanço(a) e bi-apoiada(b)	83
Figura 4.2 - Esquema estrutural representativo de viga com os PEF.....	84
Figura 4.3 - Modelo 3D de uma edificação.....	86
Figura 4.4 - Força P2 na viga bi-apoiada 4	88
Figura 4.5 – Força Q6 na viga 5 em balanço 5	89
Figura 4.6 - Mostrando parte inferior dos pilares e o bloco de fundação com as estacas	90
Figura 4.7- A mesma edificação da Figura 4.3, agora com destaque para o vão livre, que corresponde ao braço externo de alavanca	91
Figura 4.8- A mesma edificação da Figura 4.3, com destaque para a seção da viga, mostrando o material estrutural que a constitui	92
Figura 4.9 - A mesma edificação da Figura 4.3, agora com destaque para a altura útil da seção da viga: braço interno de alavanca.....	93
Figura 4.10 - Vigas: (a) linhas de tração e compressão, (b) alavancas na viga, (c) tração T e compressão C nas alavancas	95
Figura 4.11- Esquema estrutural representativo, mostrando metade da viga com as forças Hc e Ht.....	96
Figura 4.12 - Viga em balanço	97
Figura 4.13 - Cabo	97

Figura 4.14-	Arco.....	98
Figura 4.15-	Treliça	98
Figura 4.16-	Casca.....	99
Figura 4.17 –	Vertical	100
Figura 4.18 –	Tração e compressão (cabo e arco).....	101
Figura 4.19 -	Imagens com cabos, arcos, treliças, seção ativa, casca e verticais.	102
Figura 4.20 –	Cabos e arcos na treliça	103
Figura 4.21 –	Cúpula.....	103
Figura 4.22 –	Torre estaiada.....	104
Figura 5.1 -	Aspectos estruturais e referenciais da aprendizagem.....	108
Tabela 5.2-	Instrumentos para análise - exemplo: alunos da equipe seção ativa	110
Figura 5.3 -	TED - interpretação do aluno GP	111
Figura 5.4 -	TPS - interpretação do aluno GP sobre CE, E e M	113
Figura 5.5 -	TRA - interpretação do aluno GP sobre CE, E e M.....	115
Figura 5.6 -	Os 5 PEF em uma viga - gerado no software Cabri-Géomètre	117
Figura 5.7-	ATEDCE1 - aluno CM	119
Figura 5.8-	2SEM1 - Cobertura do ginásio de Rolândia.....	120
Figura 5.9-	2SEM1a – Alavanca na casca do Ginásio de Rolândia.	121
Figura 5.10-	2SEM5 - Sistema vertical.....	121
Figura 5.11-	2SEM5a – Alavanca no sistema vertical	122
Figura 5.12-	Concepção do aluno MS sobre os parâmetros PEF – indicando os momentos externos e internos	123
Figura 5.13-	ATRACE4 – Aluna AD superfície ativa – cascas.....	124
Figura 5.14-	ATRACE5 – Aluno RV – altura ativa – sistema vertical	126
Figura 5.15-	MTEDCE2a – Launo(a) VI	127
Figura 5.16-	MTRACE1 – aluno (a) IM definindo sistema vetor ativo – treliças ...	128
Figura 5.17-	MTRACE2 - Aluno AD definindo vetor ativo – treliças	128
Figura 5.18-	BTRACE1 - aluno BA definindo sistema de forma ativa	130
Figura 5.19-	ATRACE1 - Aluno LN.....	130
Figura 5.20-	TRA - interpretação do aluno MS do M.....	131
Figura 5.21 -	TRA - interpretação do aluno GP da EE	132
Figura 5.22-	ATRAE1 – aluno RM interpretando o equilíbrio do arco.....	132
Figura 5.23-	MTPSE1 – aluno LF sistema forma ativa - cabos e arcos	133
Figura 5.24 -	TRA - interpretação SJ aluno da E.....	133
Figura 5.25-	MTRAEM2 aluno CP vetor ativo – treliça.....	134
Figura 5.26 -	MTRAEM2 – aluno KS	134
Figura 5.27-	MTRAEM4 – aluno LP	135

Figura 5.28-	MTRAEM4 – aluno LC	135
Figura 5.29-	MTRAE4a – alunoVI – sistema superfície ativa – cascas	136
Figura 5.30-	MTPSE5 – aluno VI sistema altura ativa – edifícios altos	136
Figura 5.31-	ATRAM1c aluno CM	137
Figura 5.32-	ATRAM1 – aluno LN – sistema superfície ativa – cascas	138
Figura 5.33-	ATRAM1a – aluno VI – Sistema forma ativa – cabos e arcos....	138
Figura 5.34-	ATRAM1b – aluno BZ	139
Figura 5.35-	ATRAM4 aluno RH.....	139
Figura 5.36-	ATRAM2 - Aluno VI – sistema vetor ativo – treliças.....	140
Figura 5.37-	ATRAM2 – aluno MC	140
Figura 5.38 -	TRA – interpretação do aluno MS do M	141
Figura 5.39-	ATRAM3 - Aluno LC descreve sistema seção ativa- vigas, grelhas, porticos.....	141
Figura 5.40-	ATPSM5 - Aluno LC descreve sistema altura ativa.....	142
Figura 5.41 -	TRA - interpretação aluno VP do M	142
Figura 5.42-	MTRAM4 - aluno LP.....	143
Figura 5.43-	MTRAM4 aluno FM.....	143
Figura 5.44-	MTRAM1b – aluno CM.....	144
Figura 5.45-	MTRAEM1 – aluno LS	144
Figura 5.46-	MTRAM5 - Aluno AB.....	145
Figura 5.47-	TRA - interpretação do aluno CC	146
Figura 5.48-	Classificação da Concepção e da Abordagem pelos Estudantes..	147

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATRACE	Alta adequação Tabela Resultado Aprendizado Composição Estrutural
ATRAE	Alta adequação Tabela Resultado Aprendizado Equilíbrio
ATRAM	Alta adequação Tabela Resultado Aprendizado Mecanismo
ATPSCE	Alta adequação Tabela do Protótipo e Seminário Composição Estrutural
ATPSE	Alta adequação Tabela do Protótipo e Seminário Equilíbrio
ATPSM	Alta adequação Tabela do Protótipo e Seminário Mecanismo
BTRACE	Baixa adequação Tabela Resultado Aprendizado Composição Estrutural
BTRAE	Baixa adequação Tabela Resultado Aprendizado Equilíbrio
BTRAM	Baixa adequação Tabela Resultado Aprendizado Mecanismo
BTPSCE	Baixa adequação Tabela do Protótipo e Seminário Composição Estrutural
BTPSE	Baixa adequação Tabela do Protótipo e Seminário Equilíbrio
BTPSM	Baixa adequação Tabela do Protótipo e Seminário Mecanismo
CFSE	Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais
CE	Composição Estrutural
E	Equilíbrio
M	Mecanismo
MTRACE	Média adequação Tabela Resultado Aprendizado Composição Estrutural
MTRAE	Média adequação Tabela Resultado Aprendizado Equilíbrio
MTRAM	Média adequação Tabela Resultado Aprendizado
MTPSCE	Média adequação Tabela do Protótipo e Seminário Composição Estrutural
MTPSE	Média adequação Tabela do Protótipo e Seminário
MTPSM	Média adequação Tabela do Protótipo e Seminário
PEF	Parâmetros Estruturais Fundamentais – cinco elementos
TED	Tabela Estudo Dirigido
TPS	Tabela do Protótipo e Seminário
TRA	Tabela Resultado Aprendizado
UEL	Universidade Estadual de Londrina
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

C	compressão
h_1	altura útil – braço interno de alavanca
H_2	força interna
Hc	força interna compressão
Ht	força interna tração
Hxh	momento interno
L_3	vão livre – braço externo de alavanca
P_4	força
PxL	momento externo
Q	força cortante
q	força distribuída
V_5	reação
T	tração
→	vetor força
braço de alavanca

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	HIPÓTESES	15
1.2	OBJETIVO GERAL	18
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4	ABORDAGEM TEÓRICA.....	19
1.5	CONTEXTO.....	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2	ENSINO E APRENDIZAGEM DE ESTRUTURAS	30
2.1	ENSINO DE ESTRUTURA NA ARQUITETURA	30
2.1.1	Estudos sobre o Ensino de Sistemas Estruturais	32
2.1.2	Outros Estudos	39
2.2	FUNDAMENTOS DA FENOMENOLOGIA	43
2.3	A EXPERIÊNCIA DE PROSSER.....	51
2.4	A PERCEPÇÃO DE FENÔMENOS PELO ALUNO	54
3	METODOLOGIA.....	59
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	59
3.1.1	Primeiro Ciclo: Ensino de Sistemas Estruturais.....	60
3.1.2	Segundo Ciclo: Alunos de Arquitetura aprendendo Sistemas Estruturais à luz da Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e da Fenomenografia.....	62
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	64
3.2.1	Primeiro Ciclo – Estudo exploratório abordando ensino, estudo e avaliação.....	65
3.2.2	Segundo Ciclo	74
4	A TEORIA DOS PARÂMETROS ESTRUTURAIS FUNDAMENTAIS...	82
4.1	A ORIGEM DOS PARÂMETROS	87
4.2	A AÇÃO DOS PARÂMETROS	94
4.3	A TRAÇÃO E A COMPRESSÃO NOS SISTEMAS	101

5	ANÁLISE E DISCUSSÃO	105
5.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	107
5.1.1	Resultados Iniciais	108
5.1.2	Um Esquema De Análise.....	116
5.2	VALIDADE, VERIFICAÇÃO E CONFIABILIDADE.....	149
5.3	CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE	150
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
	REFERÊNCIAS	158
	APÊNDICES.....	173

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura envolve, entre outras atividades, a área de projeto, para a qual é indispensável a aprendizagem de sistemas estruturais e de seu comportamento. Independentemente da abordagem pedagógica adotada (MIZUKAMI, 1986), uma pergunta deve sempre ser formulada: como os alunos entendem os conceitos básicos fundamentais de sistemas estruturais?

Ao projetar edifícios, é essencial que os arquitetos tenham uma compreensão, ainda que elementar, dos conceitos fundamentais relativos ao comportamento dos sistemas estruturais. Isso pode ser uma barreira para os alunos de arquitetura, uma vez que, por terem uma formação que abrange, além das áreas mais técnicas, também as humanas e as artes, acabam encontrando dificuldades diante de disciplinas como Sistemas Estruturais e Resistência dos Materiais. Saber identificar os conceitos fundamentais de sistemas estruturais é indispensável aos arquitetos porque a estabilidade dos edifícios depende diretamente desse fundamento. Para poder projetar edifícios, de forma competente e segura, é necessário que haja uma ampla compreensão desses conceitos. Questiona-se, então: Por que é necessário que arquitetos compreendam os sistemas estruturais? O conhecido arquiteto alemão Mies van der Rohe (1972, p. 35) tentou responder a essa pergunta: “Arquitetos têm a necessidade de prestar especial atenção aos aspectos relacionados ao sistema estrutural na concepção de um edifício, porque todas as formas que não são determinadas pela estrutura precisam ser evitadas.”

Em suma, ele acreditava que todos os edifícios devem ser concebidos sem negligenciar os seus parâmetros e requisitos estruturais. As evidências da prática dessa concepção encontram-se expressas nas obras de arquitetos como Calatrava, Norman Foster e Grimshaw que realizaram estudos sobre sistemas estruturais como forma de melhor desenvolver seus projetos. No caso de um curso de sistemas estruturais para arquitetos, esse assunto poderia ainda ser amplamente explorado contando com outros profissionais como Eero Saarinen, Félix Candela, Nervi e Robert Maillart, que utilizam figuras, projetos e obras para evidenciar que a concepção da forma depende intrinsecamente da concepção estrutural.

Embora grande parte dos futuros arquitetos relute em admitir limitação em alcançar essa compreensão, na fase em que ainda estão cursando a graduação, os estudantes de arquitetura da Universidade Estadual de Londrina expressam, num

grande número de ocasiões, uma grande ansiedade para experimentar uma abordagem mais significativa para a aprendizagem de estruturas. Eles mencionam que a “abordagem pedagógica tradicional” (MIZUKAMI, 1986) tende a ser limitada, além de monótona e improdutiva. Há também insuficiência (mesmo que já tenham cursado matemática no primeiro ano) em aplicar conceitos abstratos diante das exigências de cálculo envolvendo física e outras formulações teóricas pertinentes. Os alunos carecem da aptidão de associar propostas e concepções de espaço – e a poética aí envolvida – a um contexto de vida real. A disciplina de sistemas estruturais deveria cumprir essa finalidade, e o ideal é que a abordagem de seu conteúdo seja de tipo não reprodutivista.

A contribuição pretendida nessa pesquisa é encontrar uma alternativa para alcançar esse ideal e inspirar os docentes dessa disciplina a criar um ambiente de aprendizagem mais relevante e estimulante. Trata-se de pensar uma prática pedagógica voltada a melhorar a compreensão dos alunos sobre sistemas estruturais. Se as deficiências na compreensão da mecânica e de sistemas estruturais não forem imediatamente percebidas, os futuros arquitetos podem acabar ingressando na vida profissional com severas lacunas, que somente serão preenchidas quando uma oportunidade significativa (ou incidente) surgir no trabalho. O fato de serem princípios estruturais abstratos explica as dificuldades em compreendê-los.

1.1 HIPÓTESES

Esse estudo partiu da premissa de que a condição para se entender o funcionamento dos sistemas estruturais dependia principalmente de o aluno conhecer os elementos estruturais básicos¹. Bastaria, portanto o aluno conhecer esses elementos estruturais básicos para entender o funcionamento das estruturas. Com isso, a primeira hipótese foi que seria possível definir esses elementos estruturais básicos, conjugados na forma de 5 Parâmetros Estruturais Fundamentais

¹ "Sabemos que a terminologia utilizada na designação das partes e dos comportamentos de uma estrutura não é um conjunto consolidado e isento de utilizações interessadas. "Elementos estruturais", por exemplo, podem designar as partes de uma estrutura segundo sua geometria - bloco, barra ou lâmina. Faço aqui a utilização dos termos que melhor se adequa aos argumentos que trabalho - ainda que tal expediente possa sugerir uma certa liberalidade de minha parte - para o que peço licença".

(PEF), (BALLAROTTI; FERRAZ, 2007), conforme nosso esforço em estabelecer um conjunto sintético de conceitos que auxiliariam os alunos na compreensão do fenômeno estrutural. Seward (1998) mostra que, em engenharia estrutural, há disciplinas específicas, símbolos e terminologia que devem ser identificados para que os alunos possam representar os principais conceitos discutidos em aulas e livros. Na capa de seu livro (Figura 1.1), identificam-se os cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF: P, H, V, L e h^2) indicados no desenho, que foram demarcados com esses símbolos. Para efeito desse estudo, esses parâmetros serão doravante chamados de *cinco elementos*.

Figura 1.1- Capa do livro intitulado “Compreendendo as Estruturas: análise, materiais, projeto” de D. Seward, que traz os cinco elementos (P, V, H, L e h) representados no desenho da ponte.

Fonte: adaptado de Seward (1998).

² Os “Cinco Elementos” são cinco Parâmetros Estruturais Fundamentais, a saber:
 L – vão, extensão do vão; braço externo de alavanca; distância entre V e V ou V e P;
 h – altura útil; braço interno de alavanca; distância entre Ht e Hc
 P – força externa
 V – reação vertical de apoio, relacionada ao braço externo L
 H – força horizontal (Ht: tração; Hc: compressão), relacionada ao braço interno h
 VxL – alavanca externa – momento fletor
 Hxh – alavanca interna – momento resistente

Na sequência do estudo, percebemos que identificar os 5 elementos não era suficiente para entender o mecanismo de cada sistema estrutural. Com isso, surgiu uma segunda hipótese que ao aluno precisaria ainda não só identificar, mas relacionar esses cinco elementos entre si, no contexto de cada sistema estrutural, o que nos levou aos *Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais* (CFSE), (BALLAROTTI; FERRAZ, 2007). Tem-se, portanto, que os CFSE se constituem do Comportamento Estrutural (CE) que abrange o modelo teórico com os elementos físicos e geométricos, o Mecanismo (M) que consiste no mecanismo de tração e compressão do sistema, e o Equilíbrio (E) que consiste no sistema de alavanca de equilíbrio presente em todos os sistemas. Essas constituem as concepções fundamentais necessárias para que se entenda o funcionamento de cada sistema estrutural. Com isso, irão se estabelecer os níveis de adequação da percepção dos alunos sobre os fenômenos a serem observados em cada análise estrutural.

A prova de que os alunos têm uma compreensão limitada dos principais conceitos relativos ao comportamento dos sistemas estruturais – que envolvem, principalmente, importantes conceitos de força, oriundos da física – pode ser indicada, desde as primeiras séries, pela elevada taxa de insucesso nas disciplinas de tecnologia. As dificuldades comumente apresentadas durante a aprendizagem de assuntos técnicos encontram-se relatadas em conhecidos estudos, que enfocam a aprendizagem dos alunos, como por exemplo, a investigação realizada por Prosser e Millar (1989) sobre como se aprende física. Eles concluíram que tal aprendizado se configurava como uma “luta” para muitos alunos, e que o domínio do assunto era algo muito difícil de ser alcançado. Também nessa perspectiva, Viiri (1996, p.62) afirmou que "o teste sobre conceito de força revela que os alunos, no início do curso, têm uma concepção muito limitada sobre o conceito de força newtoniana e que esse conceito é muito difícil de ser construído".

Outro estudo, conduzido por Prosser, Walker e Millar (1996, p.47), ao analisar as atitudes dos alunos na aprendizagem de física, declarou que "os resultados mostram que as respostas dos alunos, em sua grande maioria, foram classificadas nas categorias de baixo nível." Os resultados de um estudo conduzido mais tarde por Prosser *et al.* (2000, p.70) indicaram que "a compreensão qualitativa dos fenômenos-chave pelos alunos é muito pobre e que não evoluía ao longo de um semestre de estudo."

1.2 OBJETIVO GERAL

O propósito do presente estudo é investigar o modo como os alunos do 2º ano do curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL aprendem os conceitos básicos de Sistemas Estruturais, e indicar os meios necessários a uma conversão das conclusões alcançadas em conteúdos que realimentem a atividade do processo ensino/aprendizagem.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Mais particularizadamente, busca-se:

- a) Compor um meio de aferir, ou seja, mapear a percepção desses alunos sobre os fenômenos estruturais, numa investigação pormenorizada de como aprendem os conceitos de Composição Estrutural (CE), Mecanismo (M) e Equilíbrio (E),
- b) Analisar os dados obtidos entre os alunos do 2º ano de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina-PR, durante um semestre em 2013, com observações realizadas em três níveis: alta adequação, média adequação e baixa adequação³ para conhecer como esses alunos desenvolvem a sua compreensão e em que essa compreensão de fenômenos estruturais consiste.
- c) Realizar um estudo confirmatório em 2014, para levantar os resultados dados de 2013, convertidos em conteúdo de ensino.

Nesse contexto, esse estudo pressupõe a negação da concepção reprodutivista de *certo ou errado* e a afirmação da *adequação* como o índice motivador que leva o aluno, juntamente com o professor, a construir, a partir das suas percepções elementares do fenômeno, conceitos mais elaborados e, portanto, de “*high adequacy*”, de acordo com Prosser e Millar (1989), Prosser (1994), Prosser, Walker e Millar (1996), Prosser e Trigwell (1998) Prosser *et al.* (2000), Marton e

³ Baixa adequação é caracterizada pela abordagem superficial e simples memorização dos parâmetros estruturais, enquanto que o estudante em média e alta adequação tenta indentificar e relacionar todos os parâmetros envolvidos na análise do equilíbrio e mecanismo do sistema estrutural.

Booth (1997), Marshall (1995) e Case (2000). A concepção “reprodutivista” está arraigada no ensino tradicional onde o processo de ensino é centrado no professor.

[...] o professor já traz o conteúdo pronto e o aluno se limita, passivamente, a escuta-lo. O ponto fundamental desse processo será o produto da aprendizagem. A reprodução dos conteúdos feita pelo aluno, de forma automática e sem variações, na maioria das vezes, é considerada como um poderoso e suficiente indicador de que houve aprendizagem [...] (MIZUKAMI, 1986, p. 15).

O método expositivo pelo professor, como forma de transmissão dos conteúdos, pela confrontação de modelos e raciocínios desenvolvidos nas demonstrações feitas em sala, pode se assemelhar a um palco ou auditório. O ensino tradicional lança mão, na maioria das vezes, do fornecimento de receituários aos alunos, como forma de resolver os problemas, visto que a aprendizagem consiste em aquisição de informações. A avaliação consiste em medir a quantidade e a exatidão de informações que o aluno conseguiu reproduzir, sendo que “as notas obtidas funcionam, na sociedade, como níveis de aquisição do patrimônio cultural” (MIZUKAMI, 1986, p. 17).

1.4 ABORDAGEM TEÓRICA

Apesar de tratar-se de um assunto de natureza técnica, esse não é puramente um estudo de sistemas estruturais. O fator importante aqui é que o foco está em como as pessoas aprendem e quais são as exigências educacionais necessárias ao aprender sobre sistemas estruturais. Encontrar um método que possa ser o mais adequado para esse objetivo é um processo complexo. Inicialmente, adotou-se a metodologia da Problematização (BORDENAVE; PEREIRA, 1989) que serviu de modelo para guiar a construção dos instrumentos de coleta de dados (BERBEL, 1999).

Quando se buscou entender melhor o processo de aprendizagem propriamente dito, encontrou-se, na Fenomenografia⁴ (MARTON; SALJO, 1976a, 1976b, 1894), os procedimentos de análise considerados mais úteis para abordagem dos resultados.

Os instrumentos originalmente desenvolvidos continuaram a ser utilizados, e os procedimentos foram ajustados na tentativa de investigar como os alunos lidam com a aprendizagem nessa área de estruturas. No início, acreditava-se que os alunos, fazendo uso desses instrumentos construtivistas (PROSSER; MILLAR, 1989), teriam maior facilidade, e a aprendizagem dos sistemas estruturais poderia ser alcançada. No entanto, a realidade frustrou as expectativas e, não surgiram novos *insights* além daqueles que já eram conhecidos. Tornou-se claro que uma abordagem mais frutífera seria explorar as ideias dos próprios alunos sobre as estruturas e não o que eles aprenderam através de memorização ou cálculos padrão. No entanto, é possível que os resultados decorrentes da presente investigação, que se baseou na Fenomenografia, envolvam aspectos dos conceitos fundamentais estruturais que os estudantes acham difícil de compreender. Seria desejável encontrar uma maneira pela qual alunos e professores juntos (LEITE, 2005) pudessem aprender sobre os fenômenos estruturais.

Os achados mais significativos desse estudo são a primeira evidência de que é possível sintetizar a operação de cada sistema estrutural fundamental usando apenas cinco parâmetros estruturais fundamentais, bem como o papel profundamente elucidativo desempenhado por dois tipos de parâmetros (vetor força e braço de alavanca) para operar o braço de alavanca, em cada sistema. O objetivo da investigação fenomenográfica é revelar como as pessoas experimentam e percebem os fenômenos. Em um recente estudo teórico, Marton e Booth (1997) mostram que diferentes "modos de viver" podem ser relacionados à forma como a consciência das pessoas está estruturada.

⁴ Da perspectiva fenomenográfica, o conhecimento é constituído por meio da relação interna entre o conhecedor (o sujeito) e o conhecer (objeto). Neste contexto de aprendizagem, o que foi experienciado e entendido pode ser interpretado como o que se poderá descrever do aprendizado obtido. Não há nenhum entendimento sobre algo sem alguém para entender e algum fenômeno a ser entendido. Do ponto de vista da pesquisa fenomenográfica, as relações que constituem o conhecimento são localizadas entre os indivíduos e os fenômenos do mundo em volta deles. Isso leva a um importante axioma. No instrumento empregado na pesquisa fenomenográfica, os estudantes não partem de um modelo que lhes seja fornecido previamente para a tarefa. Eles desenvolvem sua própria percepção, fazendo uso do que conhecem e do que entendem ser o que estão observando (BALLAROTTI *et al.*, 2007).

A estrutura da consciência de um indivíduo fica mudando o tempo todo, e a totalidade de todas as experiências (vividas pelo indivíduo) é o que chamamos de consciência do indivíduo. Uma experiência é uma relação interna entre a experiência pessoal e o fenômeno experimentado (MARTON e BOOTH, 1997).

Esse assunto será explorado em mais detalhes no capítulo três.

1.5 CONTEXTO

Nesta seção, três pontos principais serão explorados: primeiro, o ambiente em que esse estudo foi realizado; segundo, aspectos relevantes do programa da disciplina e, finalmente, a escolha dos conceitos fundamentais para entendimento dos sistemas estruturais empregados na disciplina. Esse estudo foi realizado na Universidade Estadual de Londrina, Paraná - Brasil⁵. Os estudantes, geralmente, entram na universidade com idade entre 18 e 20 anos, e têm um mínimo de cinco anos para completar os seus cursos. A estrutura geral do curso de Arquitetura, nesta universidade, é semelhante à de outros cursos de formação profissional como o de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica, e por ser pública e gratuita, o nível dos alunos que entram tende a ser melhor do que nas escolas privadas, tendo em vista o processo de seleção mais rigoroso e competitivo. No Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU), há o Departamento de Arquitetura e Urbanismo, o Departamento de Estruturas, no qual o autor desta tese está lotado, e também os Departamentos de Construção Civil e Departamento de Engenharia Elétrica. A maioria dos professores do Departamento de Arquitetura e Urbanismo são arquitetos que ministram disciplinas tais como teoria da arquitetura, desenvolvimento urbano, projeto, conforto, e assim por diante.

⁵ Na maioria das capitais dos estados do sul do Brasil há universidades federais e estaduais, que são gratuitas. A UEL foi fundada em 1970. O Curso de Arquitetura e Urbanismo foi criado pela Resolução nº501 em 21/10/1978 e, após sua implantação em turno Integral em 14/08/1979, obteve reconhecimento através da Portaria Ministerial nº 331 em 26/07/1984, concedendo aos graduados o grau de Arquiteto e Urbanista (Código 53). Perfil do profissional: Os arquitetos e urbanistas são profissionais aptos a compreender e traduzir as necessidades de indivíduos, grupos sociais e comunidades e, conseqüentemente, atuar no planejamento, projetos e construção de espaços urbanos. Objetivo do curso: Formar profissionais aptos a responder às diferentes necessidades do indivíduo e da sociedade, no que diz respeito à arquitetura e o urbanismo, através do espírito crítico em relação aos aspectos sociais, culturais, ambientais, éticos e estéticos. Campos de atuação: Profissional liberal ou em órgãos de planejamento, em empresas públicas e privadas. Profissão regulamentada pela Lei n.º 5.194, de 24/12/1966.

Os assuntos ditos “mais técnicos” são ministrados por professores dos Departamentos das Engenharias e de Matemática. No primeiro ano do curso de Arquitetura e Urbanismo, Geometria e Cálculo Diferencial e Integral são ensinados pelo Departamento de Matemática. No segundo ano, há as disciplinas de Sistemas Estruturais, que o autor tem ministrado, e Resistência dos Materiais e Mecânica das Estruturas ensinadas por professores do Departamento de Estruturas. No terceiro ano, há a disciplina de Concreto Armado. No quarto ano, há disciplinas sobre Construções em Estrutura de Aço e Construções em Estrutura de Madeira. No quinto ano do curso, os alunos recebem insumos e orientação para desenvolver o TG (trabalho de graduação) e têm de apresentar o projeto em duas etapas semestrais, em alguns casos, com a supervisão de um professor de estruturas. A duração total do curso de Arquitetura e Urbanismo é de cinco anos. De acordo com Saramago (2011), a estrutura curricular das disciplinas de estruturas na maioria dos cursos de Arquitetura e Urbanismo do país segue esse padrão. A maioria das disciplinas é desenvolvida em sala de aula, e o assunto é ensinado por meio de aulas expositivas.

O objetivo da disciplina de Sistemas Estruturais, ministrada no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL, é introduzir os conceitos fundamentais de sistemas estruturais de forma qualitativa, dispensando o emprego de fórmulas, equações e cálculos complexos. Esta disciplina tem a duração de um semestre, 18 semanas, com quatro aulas de 55 minutos por semana - o que perfaz um total de aproximadamente 3,6h por semana, resultando num curso com carga horária de 66h no semestre. O conteúdo da disciplina é composto basicamente pelo estudo de um conjunto de cinco famílias de sistemas estruturais, conforme concebido por Engel (1981): as estruturas de forma-ativa (cabos, arcos e membranas), de vetor-ativo (treliças), de seção-ativa (vigas, pórticos, grelhas, dentre outros), de superfície-ativa (cascas) e de altura-ativa (edifícios altos, torres). Os alunos são divididos em cinco equipes de cerca de seis alunos, cada equipe desenvolve um dos temas acima, e cada equipe se prepara para realizar um seminário e construir um protótipo no final do semestre.

O principal resultado buscado na disciplina é capacitar os alunos a observar, explorar e entender a mecânica destas cinco famílias de sistemas estruturais fundamentais. Esta disciplina inclui palestras e reuniões nas primeiras dez semanas, e depois seminários que acontecem durante as últimas duas ou três semanas da

disciplina. Finalmente, há um exame escrito que cobre os principais pontos discutidos nas apresentações de seminários (os resultados do exame são agregados no que chamei de Tabela Resultado de Aprendizado - TRA). Os estudantes são incentivados a construir modelos físicos e protótipos para demonstrar o comportamento estrutural dos sistemas de cada equipe e esses são exibidos em sua apresentação do seminário.

Na Universidade Estadual de Londrina, como em outros cursos de arquitetura no Brasil, o assunto relativo às estruturas e à engenharia estrutural é ministrado por engenheiros, que são especialistas nesse campo (SARAMAGO, 2011). Desde 1982, o autor desta tese tem ministrado disciplinas de estruturas para estudantes de arquitetura. Engenheiros estruturais raramente gostam de ensinar em cursos de arquitetura, porque o estudante de arquitetura é mais voltado a desenvolver a inteligência espacial, conforme definido em Gardner (1993). Durante o curso de arquitetura, a incorporação da inteligência espacial é muito forte a partir das representações desenvolvidas em projeto como os desenhos em 2D e 3D, além do uso de maquetes físicas.

Por outro lado, os engenheiros desenvolvem mais a inteligência lógico-matemática que envolve a representação dos fenômenos através de símbolos e fórmulas (GARDNER, 1993). Além disso, os alunos de arquitetura tendem a ser mais interessados em artes e humanas do que em matemática e física. A abordagem adotada pelos professores engenheiros quando ministram as disciplinas de estruturas para estudantes de arquitetura é a mesma que a utilizada nas disciplinas de engenharia. Em outras palavras, nenhuma provisão é feita para os diferentes gostos, aptidões e interesses dos alunos.

De acordo com Bringhenti (1993), esta abordagem de engenharia é, essencialmente, tradicional e reprodutivista. As disciplinas sobre estruturas normalmente exigem que os alunos confiem na memória e copiem os procedimentos que lhes foram ensinados e recomendados a serem seguidos. O professor explica os conceitos teóricos fundamentais e fornece exemplos que funcionam como modelos de trabalho para os alunos. Os estudantes tomam notas e realizam os cálculos, seguindo esses procedimentos, passo a passo. Às vezes, eles aprendem as fórmulas de cor e as aplicam, mecanicamente, sem compreender os conceitos envolvidos. Se perguntados sobre “o que” e “como” os procedimentos se desenvolvem, eles tendem a hesitar ao responder, apesar de conhecerem os

números e fórmulas de memória. Muitos autores, no Brasil, (LORRIGIO, 1975, SANTOS, 1983, SANTOS, 1985, REBELLO, 1992, SCHWARK, 1996, DI PIETRO, 2000; CARRIERI, 2001) expressaram preocupação sobre os problemas de ensino de estruturas no início de ambos os cursos de engenharia e de arquitetura, em particular, sobre como fazer com que os alunos compreendam os conceitos fundamentais de sistemas estruturais, tais como os descritos em Engel (1981) e os conceitos fundamentais da resistência dos materiais, conforme descrito em Timoshenko e Gere (1972), por exemplo.

Um estudo anterior (BALLAROTTI; NAMPO, 2000) - realizado em colaboração com o Departamento de Educação da Universidade Estadual de Londrina e com o Dr. Yopanan Rebello (REBELLO, 2000) que participou de atividades didáticas nesta Universidade a convite do autor, e na qualidade de especialista em ensino de estruturas para arquitetos – levantou algumas questões sobre a dificuldade dos estudantes de arquitetura em aprender conceitos fundamentais de sistemas estruturais. Isto motivou o presente estudo a adotar uma abordagem fenomenográfica, que também é definida por Uijens (1996, p. 108), como segue: “Em fenomenografia a noção de intencionalidade é tratada em termos de uma distinção entre *o que e como*, que significa que quando ao se tratar de um assunto, o aluno está sempre consciente de algo (o que) e está consciente desse algo de alguma maneira (como).”⁶

Existe uma série de possíveis benefícios que foram evidenciados nesse estudo com os alunos do segundo ano do curso de Arquitetura e Urbanismo, considerando parâmetros físicos e geométricos envolvidos nos mecanismos de sistemas estruturais e como são por eles aprendidos. Esses benefícios podem incluir os seguintes aspectos:

- a) uma melhor compreensão de como os alunos devem desenvolver as suas ideias sobre cada sistema estrutural. Cinco parâmetros fundamentais foram estabelecidos como o principal ponto de referência para ajudar os alunos a alcançar uma melhor compreensão dos mecanismos estruturais.
- b) os alunos são motivados a demonstrar que podem identificar e estabelecer as relações entre esses parâmetros;

⁶ Texto original: “In phenomenography the notion of intentionality is treated in terms of a what- and how-distinction, which means that when a subject is aware, he or she is always aware of something (what) and he or she is aware of this something in some way (how).”

- c) o conhecimento de como os alunos compreendem o mecanismo de transferência de forças em cada um dos cinco sistemas estruturais, de acordo com os princípios estabelecidos por Engel (1981);
- d) a concepção de um instrumento para explorar a compreensão dos alunos sobre esses conceitos e fenômenos;

O contexto desse estudo abrange também outros aspectos do curso de arquitetura, incluindo a abordagem para a construção e projeto de edifícios. Assim como em outros assuntos que os estudantes de arquitetura têm que dominar, a aprendizagem de estruturas requer grande concentração e estudo sistemático para entender os conceitos fundamentais de cada sistema estrutural (ENGEL, 1981).

Uma questão-chave que emergiu durante o trabalho de campo, leva a questionar como os principais mecanismos estruturais envolvidos nos sistemas estruturais poderiam ser reconhecidos e como eles devem figurar nos materiais educacionais para arquitetos. (ENGEL, 1981). A principal dificuldade, nesse campo, é que uma série de conceitos estruturais são muito abstratos para os alunos compreenderem facilmente (momento fletor, por exemplo, flexibilidade, rigidez, etc).

Os livros didáticos existentes, em mecânica estrutural para arquitetos, não fornecem explicações completas de características essenciais, tais como forças atuantes, elemento estrutural, vão livre, altura útil e condições de apoio. Em vista disso, uma questão essencial poderia ser expressa do seguinte modo: Como os alunos poderiam descobrir e aprender sobre esses conceitos - seria a partir de livros didáticos, das características do ambiente natural, ou de modelos físicos?

A importância de aprender conceitos estruturais tem sido descrita por Ji e Bell (2000), Clark (2000, p. 154) e Phillips (2000, p. 217). Esses autores afirmam que os conceitos são elementos-chave necessários para a aprendizagem da mecânica estrutural. Nas abordagens tradicionais de ensino, esses conceitos são ensinados teoricamente e muitas vezes com um alto grau de abstração, o que significa que a maioria dos alunos acha difícil apreendê-los. Ji e Bell (2000) argumentam que o entendimento de conceitos deve ser o objetivo fundamental nas estruturas de ensino; no entanto, porque os conceitos estruturais e princípios são abstratos (já que não podem ser vistos e tocados diretamente), os alunos experienciam muitas dificuldades em compreendê-los. Ji e Bell (2000) usam modelos físicos em laboratório para demonstrar maneiras em que os conceitos estruturais abstratos

podem ser materializados e tornarem-se visíveis, para os alunos, em sala de aula. Em uma abordagem de inspiração fenomenográfica, isso corresponderia a tentar descobrir como os fenômenos tanto podem "aparecer" como serem "apreendidos" pelo aluno.

Numa análise realizada na literatura técnica nacional, Santos (1983), Rebello (1992), Schwark (1996), Rebello (1999) e Carrieri (2001) demonstraram que não houve consenso sobre o que os alunos precisam entender e aprender primeiro, no início do curso de arquitetura. Esses autores não se referem a conceitos fundamentais ou seu papel no auxílio da compreensão dos alunos. Em geral, eles enfatizam as características dos sistemas estruturais que permitem, aos alunos, realizar o desenvolvimento dos projetos arquitetônicos, sem se concentrar em suas características mais elementares, que constituem os conceitos fundamentais dos sistemas estruturais, ou no processo de aprendizagem. No curso de Arquitetura na UEL, a disciplina de sistemas estruturais é estudada após a disciplina de mecânica das estruturas, que ocorre no primeiro semestre e, em paralelo, a resistência dos materiais, no segundo semestre. Assim, ela pode ser considerada como um campo de base no domínio estrutural.

O principal objetivo desse estudo foi investigar "o que" os alunos de segundo ano da Arquitetura e Urbanismo da UEL percebem e entendem dos e os conceitos e fenômenos dos sistemas estruturais através dos parâmetros estruturais básicos, tanto quanto "o como" tais conceitos e fenômenos são apreendidos. As diretrizes utilizadas foram inspiradas na experiência fenomenográfica de Prosser:

- a) produzir um conjunto de perguntas para saber a natureza das dificuldades dos alunos e suas concepções;
- b) definir questões e parâmetros para os alunos;
- c) definir uma escala de níveis de adequação – categorias de análise;
- d) elaborar instrumentos de pesquisa adequados;
- e) confirmar se os alunos que obtiveram uma adequação elevada ("abordagem profunda" nos termos de Prosser) foram capazes de extrair significado pessoal a partir do material de estudo;
- f) confirmar até que ponto os estudantes com baixa adequação ("abordagem superficial" nos termos de Prosser) apenas reproduziram as questões de aprendizagem por memorização (*learning by rote*);

- g) confirmar se os estudantes de baixa adequação mostraram consciência de que a sua compreensão pode ser ampliada através de uma tentativa de relacionar a sua consciência (percepção) de sistemas estruturais com o mundo real;
- h) confirmar se os estudantes de todos os níveis de adequação reconheceram que os sistemas estruturais foram intimamente ligados com o mundo ao seu redor;
- i) confirmar até que ponto a abordagem para memorizar informações adotada pelos estudantes sem internalizar o seu significado se torna uma "situação ocasional".

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Realizou-se um estudo de caso com os alunos do segundo ano do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL (ROBSON, 2002). Esse estudo implicou em uma coleta de dados qualitativos, tais como os pontos de vista de alunos e professores de disciplinas da área de estruturas e suas respostas a instrumentos. Além disso, implicou também no desenvolvimento de um instrumento concebido para explorar a forma como os alunos aprendem conceitos fundamentais de sistemas estruturais. Esse instrumento (Tabela do Resultado do Aprendizado - TRA) foi especialmente concebido para explorar a aprendizagem dos alunos e incluiu um formulário, um guia do professor e um guia dos estudantes, através do qual o professor e os alunos podiam gravar suas ideias sobre os conceitos necessários para cada sistema estrutural, no início e no final do semestre. Dois outros instrumentos (Tabela Estudo Dirigido - TED e Tabela do Protótipo e Seminário - TPS) foram aplicados para permitir que o autor pudesse acompanhar o desempenho de cada aluno durante a disciplina. Os alunos demonstraram suas habilidades por meio de atividades realizadas, tanto em sala de aula, como em laboratório, e seu último nível de entendimento foi mapeado no final do semestre, pelo TRA2.

Há seis capítulos propostos que cobrem esse estudo e esses são descritos como segue. Após esse capítulo introdutório, o capítulo dois compreende uma revisão da literatura relevante sobre aspectos do processo de aprendizagem nas disciplinas de arquitetura e da teoria da fenomenografia que é examinada como uma

abordagem de pesquisa. Esse capítulo também discute pesquisas que exploram os tipos de dificuldades conceituais que os alunos têm e os tipos de conceituações que eles formam.

O capítulo três relata a experiência na UEL, a metodologia empregada nesta tese, em que o desenho da investigação é descrito, e esse é seguido por uma discussão de questões relacionadas com a investigação. Na primeira seção, a forma como os instrumentos foram concebidos é descrita. A segunda seção considera os três principais instrumentos preparados para explorar, aprender e realizar a análise. Na terceira seção, o uso dos instrumentos é explorado em termos de resultados de pesquisas, análises preliminares e validação dos dados da pesquisa. Descreve a concepção e aplicação dos instrumentos de pesquisa empregados nesse estudo para investigar os processos de aprendizagem dos alunos. Os procedimentos de amostragem e as questões éticas são também considerados, e isso é seguido por uma análise da coleta de dados e associação com as questões de pesquisa. Existe então uma discussão sobre os meios adotados para assegurar a validade, confiabilidade e generalização dos resultados.

O capítulo quatro apresenta a Teoria dos Cinco Elementos, ou seja, uma abordagem mais detalhada e minuciosa desses Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF) que criamos, com o objetivo de familiarizar alunos e professores nesse contexto de ensino/aprendizagem básico dos sistemas estruturais. Cada um dos PEF se fundamenta em determinada área de conhecimento que é desenvolvida nas outras disciplinas do curso de Arquitetura.

O capítulo cinco apresenta a análise qualitativa que foi realizada para encontrar categorias que poderiam ser utilizadas para classificar como os alunos compreenderam os principais conceitos de sistemas estruturais, tendo em conta as mesmas dimensões e os parâmetros físicos e geométricos. Ao final da análise de cada aluno, há um resumo identificando os parâmetros e as relações entre eles, apontando as dificuldades da experiência dos estudantes na conceitualização, a experiência e as categorias elaboradas para compreender a aprendizagem dos alunos através da análise dos dados coletados de 2012 a 2014.

O capítulo seis apresenta as considerações finais e conclusões do estudo. Esta pesquisa encontrou diferenças na forma como os alunos participantes perceberam as estruturas, em que aspectos focaram os mecanismos estruturais, e em que grau eles entenderam a mecânica dos sistemas estruturais. Esse resultado

levanta questões fundamentais sobre a forma de abordar esse problema e melhorar a metodologia de ensino e aprendizagem que é empregada nesse domínio técnico.

A tese defendida é de que o estudante identifica e correlaciona os cinco parâmetros estruturais em diferentes graus de adequação, indo de baixa adequação a alta adequação. Ao estudante situado na faixa de baixa adequação falta-lhe nivelamento perceptivo. Por outro lado, o estudante situado na faixa de alta adequação, embora, com desempenho satisfatório, nem sempre tem consciência dos motivos de seu bom desempenho. Falta-lhe, portanto, confirmação teórica do que foi capaz de demonstrar. O tratamento aos dois grupos diverge quanto ao procedimento, mas se assemelha quanto ao enfoque. O aprendizado de estruturas é novo para todos.

2 ENSINO E APRENDIZAGEM DE ESTRUTURAS

2.1 ENSINO DE ESTRUTURA NA ARQUITETURA

A tarefa de ensinar e aprender sistemas estruturais em cursos de arquitetura constitui um desafio especial porque tem de atender tanto às questões da arquitetura (uma combinação de arte e tecnologia) como às da engenharia (uma combinação de tecnologia e da teoria das estruturas). Essa disciplina é ministrada por um engenheiro com o objetivo de preparar o aluno para desenhar "a estrutura" e para manter o edifício em pé de modo que a rigidez e a imobilidade sejam características aparentemente evidentes. Apesar das aparências, porém, todas as estruturas têm uma flexibilidade inerente que normalmente é imperceptível. É impossível para qualquer estrutura ser inteiramente rígida, de modo que o desafio para o projetista estrutural, segundo Engel (1981), é conceber uma estrutura com a menor quantidade possível de material estrutural de tal forma que obtenha um grau de segurança e de rigidez que seja aceitável para os usuários, sem permitir deformação excessiva ou vibração, de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas. Como resultado, a estrutura tem de ser tão rígida e leve quanto possível, mediante a utilização dos melhores meios tecnológicos disponíveis.

Segundo Saramago (2011), as relações entre arquitetura e estruturas são indissociáveis, visto que toda concepção arquitetônica se estabelece a partir de determinados sistemas estruturais que lhe asseguram resistência mecânica e forma geométrica. Todos os materiais utilizados nas edificações desenvolvem funções estruturais, conferindo-lhes grande importância nos domínios do arquiteto e do urbanista.

Enquanto se ministrava a disciplina de Mecânica das Estruturas nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo e de Engenharia Civil, ambos da Universidade Estadual de Londrina (UEL), observou-se como os alunos reagiam diante das dificuldades em aprender os principais conceitos dos sistemas estruturais. O baixo aproveitamento das aulas e o pouco interesse pelo estudo tornaram-se evidentes, o que, a partir da perspectiva de um professor e projetista de estruturas, com experiência profissional, constitui um grave problema educacional. Como resultado, houve a iniciativa de entrar em contato com outros educadores nessa área de conhecimento. O primeiro contato foi com uma professora de

Tecnologia da Educação da UEL, com a qual montamos um projeto de pesquisa, contando com a participação de mais duas doutoras em educação e geometria. Um dos resultados daquela pesquisa foi a produção de um texto que salientava a importância de tratar tal problema como uma questão de pesquisa, abordando as necessidades de ensino / aprendizagem (BALLAROTTI; NAMPO, 2000). Tornou-se claro que há uma forte tendência para que os alunos se preocupem com as notas e a aprovação nas disciplinas ao invés de melhorarem sua compreensão e o entendimento dos conceitos fundamentais.

Estudantes de arquitetura na UEL cursam um elenco de disciplinas na área de estrutura do segundo ao quarto anos, e também podem complementar seus estudos fazendo disciplinas especializadas adicionais ou praticando como estagiários em escritórios de projeto. Para alcançar o entendimento necessário para projetar a estrutura de um edifício, requer-se uma grande quantidade de informações técnicas e práticas, bem como a participação na realização de projetos de edificações. Em outras palavras, para adquirir alguma desenvoltura prática na aplicação de tais conhecimentos técnicos, os alunos devem trabalhar nesse campo durante o seu curso de graduação como estagiários, quer por meio da participação em projetos na universidade ou pelo trabalho em empresas de projetos de arquitetura ou engenharia. Além disso, os alunos devem se aplicar no entendimento da matemática e da física, para desenvolver habilidades que envolvam a utilização de softwares especializados, principalmente aqueles atualmente reunidos na plataforma BIM. No entanto, uma vez que os conceitos fundamentais de sistemas estruturais são compreendidos, essas tarefas devem se tornar menos demoradas e mais fáceis de serem realizadas. Deve ser da competência de um arquiteto projetar um edifício sem necessariamente fazer o projeto estrutural. Os cálculos são geralmente elaborados por um engenheiro civil especialista em Projeto Estrutural.

Quanto às questões da aprendizagem e das técnicas de ensino, temos, por exemplo, Phillips (2000) que investigou o efeito do uso de modelos físicos em engenharia estrutural. Sua abordagem demonstrou a importância de incentivar os alunos, estimulando sua imaginação, capacidade criativa, iniciando-os no projeto conceitual e dando-lhes confiança no desenvolvimento de suas habilidades. Ele também tenta reproduzir muitas das características associadas à ação de projetar algo em circunstâncias de vida real. É importante analisar a forma como um curso inovador afeta as abordagens dos alunos durante a aprendizagem de estruturas.

Uma explicação é dada por Richardson (1997, p. 7) ao afirmar que "o conhecimento é construído pelo indivíduo interagindo com o ambiente de aprendizagem, isto é, tanto o indivíduo como o ambiente muda como resultado desse processo de aprendizagem". Por exemplo, quando os alunos constroem os protótipos na disciplina de Sistemas Estruturais da UEL, há uma interação com o ambiente de aprendizagem e essa tarefa tende a aumentar a sua compreensão acerca dos sistemas estruturais (BALLAROTTI; NAMPO, 2000).

2.1.1 Estudos sobre o Ensino de Sistemas Estruturais

Um número crescente de pesquisadores tem buscado formas alternativas para ensinar os fundamentos de sistemas estruturais para estudantes de arquitetura e engenharia, no início de seus cursos. Alguns deles oferecem abordagens alternativas de ensino de estruturas ou de outros temas técnicos em ensino superior. Outros criaram instrumentos que poderiam ser empregados por arquitetos e engenheiros em seus cursos de projeto estrutural ou utilizaram métodos que pudessem melhorar a compreensão dos alunos sobre Mecânica Estrutural. Três desses estudos foram realizados em escolas de engenharia como Lorrigio (1975), Santos (1983) e Santos (1985) e três em escolas de arquitetura como os de Maria Amélia Leite (2005), Rebello (1992) e Saramago (2011).

Lorrigio (1975) revisou estudos da época e desenvolveu métodos para utilizar meios não matemáticos de ensinar estrutura para os arquitetos. Naquela época, no Brasil, essa ideia ainda era incomum no campo técnico. Os cursos de arquitetura assemelhavam-se muitos aos cursos de engenharia, e até a década de 1970, em muitas faculdades, os cursos de estruturas para arquitetos usavam o mesmo programa, professores e livros dos cursos para engenheiros (SARAMAGO, 2011). Lorrigio estava procurando maneiras alternativas de tornar o mundo abstrato de sistemas estruturais acessíveis a arquitetos (POLILLO, 1968). As publicações daquela época sobre esta questão eram muito restritas. Um livro alemão sobre sistemas estruturais que tinha sido publicado em Inglês em 1968 - *Sistemas de Estruturas* - de Heino Engel, publicado pela primeira vez no Brasil em 1981, com imediata e ampla utilização em cursos de arquitetura no Brasil. A principal contribuição de Lorrigio foi a apresentação de uma taxonomia de "sistemas estruturais".

Santos (1983), em estudo sobre a concepção, projeto, construção e manipulação de modelos físicos qualitativos em engenharia estrutural, sugeriu que o tempo necessário para que os alunos aprendessem os principais conceitos de mecânica estrutural poderia ser reduzido, por meio de modelos físicos para ajudar os alunos a compreender os fenômenos básicos estruturais. Afirmou que o uso apropriado de modelos ilustrativos tornaria mais fácil o entendimento teórico, pois ao fornecer uma representação física dos conceitos ensinados, permite que os professores introduzam esses conceitos de forma mais rápida, e que os alunos os compreendam melhor. Seu estudo conceitua que modelos físicos podem ser úteis e baratos, além de fáceis de serem construídos.

Eles foram concebidos ou adaptados de modo que possam ser construídos por técnicos em laboratórios ou oficinas, por meio de materiais de fácil obtenção. Todos os modelos são portáteis, para que possam ser utilizados em sala de aula. Juntamente com o diagrama para cada modelo, havia uma descrição de suas principais características, o funcionamento, resultados e conclusões, juntamente com as instruções para a sua fabricação e uso. No entanto, não identificamos o envolvimento de alunos no projeto ou na construção desses modelos e na sua tese não há registro da utilização dos modelos ou o que eles aprenderam com os modelos. Em seu trabalho, o autor sugere que cada professor deve decidir que modelos físicos utilizar para explicar determinado fenômeno estrutural. Embora esses modelos pareçam eficientes para demonstrar um fenômeno particular em mecânica estrutural, uma limitação é a sua incapacidade para testar os efeitos estruturais e medi-los.

Santos (1985) analisou a literatura sobre a relação entre estrutura e arquitetura. O seu objetivo era proporcionar uma melhor compreensão da importância da estrutura no desenho da construção. Após revisão da literatura existente, incluindo Torroja (1960) e Engel (1981), ele construiu um quadro para demonstrar os principais sistemas estruturais em uma série de edifícios significativos, e estabeleceu uma taxonomia formal. Ele argumentou que, para ser capaz de projetar edifícios com sucesso, os arquitetos devem ter um nível mínimo de compreensão sobre esses sistemas e sua aplicação. No entanto, ele não demonstrou querer explorar os essenciais mecanismos fundamentais estruturais ou o tipo de abordagem necessária para ensiná-los, sendo seu quadro estritamente teórico e com base na literatura pertinente.

De acordo com Leite (2005), os arquitetos perderam prestígio social em termos de atendimento das complexas demandas construtivas atuais, em relação aos engenheiros. Nas pesquisas da autora, encontramos citadas como causa disso as características das condições do ensino de tecnologia em escolas de arquitetura e urbanismo. A autora relatou que os programas de tecnologias dos cursos de arquitetura e urbanismo apresentavam uma listagem de aulas teóricas e respectivos conteúdos, eventualmente intercaladas por aulas denominadas práticas, destinadas à resolução de exercícios de dedução matemática e não à experimentação física dos fenômenos, revelando assim um ensino pouco voltado à problematização como método de aprendizagem, conforme relata Minto (2009).

O que se espera é que as escolas tenham um mínimo de aparato em suas instalações para que o estudante consiga entender os fenômenos que acontecem dentro de uma estrutura. Esses métodos de análise teórica e de comprovação matemática para a compreensão das forças e dos momentos são insuficientes (MINTO, 2009, p. 92).

Na entrevista de Maria Amelia Leite, registrada na dissertação de Saramago (2011), encontramos os termos "o que" e "como", que nos remetem às duas palavras-chave da Fenomenografia, envolvendo as questões de aprendizagem.

Fizemos estudos (Maria Amélia e Yopanan), para descobrir como poderiam ser explicados os esforços, os fenômenos estruturais de uma maneira compreensível! Foi um processo, para nós, de muito crescimento! Essa busca de não só 'o que', mas o 'como'." (SARAMAGO, 2011, p. 336).

Na discussão e ótica desses autores, a tecnologia por si só não resolve o problema da arquitetura, sendo que o projeto, partindo de um raciocínio lógico, tem que ser desenvolvido com a poética do espaço. O que se pretende é que o fazer se junte à arte, e não se justifique tão somente pelo fazer. Esta maneira de conceber o projeto, já com a noção construtiva, é outro modo de se focar o canteiro experimental.

O aluno tem que passar, sim, a ser o responsável pela materialização do que ele imagina. E essa materialidade passa pelo sistema estrutural, passa pela forma e passa pelo sistema construtivo, passa pela tecnologia. Essa conjunção nasce desde os primeiros anos do ponto de vista da concepção estrutural e depois já nasce na preocupação, de fato, construtiva. (MINTO, 2009, p. 152).

Preocupada e envolvida com as questões de aprendizagem de estruturas desde sua graduação na Arquitetura e Urbanismo, Maria Amélia enfoca os currículos dos cursos levantando questões tais como:

O que se aprende das programações disciplinares é uma grande preocupação com os conteúdos a transmitir, e pouca ênfase aos procedimentos didáticos para que tais conhecimentos sejam elaborados de modo crítico, bem como a ausência de definição sobre os objetivos do processo de ensino em termos de aprendizado do aluno. (LEITE, 2005, p. 190).

De acordo com o que discutimos nesta tese, e que também é relatado por Leite (2005), na grande maioria dos currículos, o que predomina é o professor e o ensino como centro do processo, enquanto que o aluno e a sua aprendizagem nem são considerados.

Ao final do século XX com um quadro preocupante na formação, caracterizado por condições precárias de ensino de Arquitetura e Urbanismo, [...] marcadas simbolicamente por “cuspe e giz”, [...] desatualizado quanto às demandas sociais para a profissão e desprovido de recursos pedagógicos adequados. (LEITE, 2005, p. 299).

Rebello (1992) realizou, em seu trabalho de mestrado, um estudo profundo e abrangente da estrutura na arquitetura, fazendo referência a muitos e importantes edifícios históricos. O conhecimento da estrutura por arquitetos, bem como o domínio satisfatório do desenvolvimento de projetos arquitetônicos, são essenciais para encontrar soluções novas ou ousadas para problemas existentes. Reconheceu que há falta de literatura especializada para auxiliar estudantes de arquitetura na aprendizagem dos conceitos básicos de estruturas. As principais conclusões desse estudo foram obtidas a partir de questionários e também por meio de entrevistas sobre a estrutura e as preferências pessoais. As respostas acabaram orientando a formulação do seguinte conjunto de considerações:

- a) professores e alunos acham que os métodos de ensino de estruturas para estudantes de arquitetura devem ser revistos;
- b) o currículo é normalmente baseado em cursos de engenharia e não está adaptado para cursos de arquitetura;
- c) as disciplinas são focadas no ensino, nas informações a serem transmitidas, e não na aprendizagem;

- d) o objeto não é ensinado em sequência lógica;
- e) a análise matemática da estrutura é importante, mas deve ser aprendida por último, como uma tradução dos fenômenos físicos que ocorrem na estrutura.
- f) os alunos parecem ter bem desenvolvidas as habilidades de memória visual, sugerindo que eles poderiam encontrar nos modelos físicos mais utilidade;
- g) no início do curso, os alunos apresentavam dificuldades consideráveis em apreender conceitos que envolvessem forte carga teórica de física e de matemática, o que sugere que uma abordagem voltada para a resolução de problemas práticos poderia ser mais útil.

Rebello (1992) incluiu um conjunto de modelos físicos em um apêndice, como ferramentas de ensino que poderiam ser usadas para melhorar a compreensão intuitiva dos alunos para cada elemento estrutural. Adaptou de Philip A. Corkill (BALLAST, 1988), da Universidade de Nebraska⁷, uma série de diagramas mostrando a relação entre vão (L) e altura útil (h) para os elementos estruturais — viga, arco, placa, etc. — que indicavam a altura útil máxima e mínima para os materiais convencionais estruturais tais como, aço, concreto, tijolo e madeira. São esses dois elementos geométricos (L e h) que compõem os cinco elementos estruturais do presente estudo. Esses diagramas também foram incluídos por Rebello em sua tese de doutorado (1999) e em seu livro (2000). O trabalho de Rebello adquiriu maior impacto após a publicação de seu livro, em 2000 — *A Concepção Estrutural e a Arquitetura* - o qual inclui uma compilação resumida dos dois estudos acima referidos.

Em suas "Sugestões para uma disciplina intuitiva sobre teoria da estrutura", Schwark (1996) explorou o ensino e a aprendizagem da estrutura com base na analogia de que o cérebro humano é dividido em dois hemisférios: o esquerdo, onde o pensamento lógico se localiza e o direito, responsável pelo pensamento intuitivo e

⁷The *Architect's Handbook of Formulas, Tables, and Mathematical Calculations*, by Ballast (1988), compiles a vast range of practical, concise formulas, tables, and calculation methods useful to improve the design process. It is a problem-solving and decision-making tool for the practicing architect and interior designer. The material included in this book gives you the answer to the many types of problems you face every day - those dealing with overall site and space planning, sizes of building components, material selection, finishes, construction assemblies, and building systems. In addition, you will find useful "rules of thumb" and basic reference data. (BALLAST, 1988).

indutivo.⁸ Também nesta perspectiva, Schwark (1996) argumentou que uma estratégia intuitiva pode ser mais apropriada, porque os alunos poderiam aplicar a intuição, assim como o pensamento lógico em problemas de estruturas e em projeto de construção. Em seu projeto de pesquisa, investigou a aprendizagem de um grupo de estudantes voluntários, por meio de um experimento que os incentivava a adotar uma abordagem intuitiva com referência a um problema de concepção estrutural. Primeiramente, eles trabalharam com suas próprias ideias sobre os fenômenos estruturais escolhidos. Depois disso, confirmaram seus palpites intuitivos, com o auxílio da literatura formal ou fazendo novos estudos científicos.

Os resultados desse experimento sugerem algumas modificações no ensino tradicional para melhorar a aprendizagem dos alunos. Por exemplo, quando tentam descobrir que tipo de tensão ocorre dentro de uma viga, os estudantes podem intuitivamente pensar que há tração de um lado e compressão do outro. Isso pode ser suficiente para que comecem a entender as formulações estabelecidas na literatura técnica. No entanto, Schwark (1996) não forneceu qualquer prova de que seus alunos possuíam pensamento intuitivo. Por outro lado, Rebello (1999) descreveu um estudo no qual ele pensou em um método de ensino para ensinar estrutura a estudantes de arquitetura, combinando os quadros estruturais de edifícios com formas naturais. Ele esboçou um projeto de ensino puramente teórico, cujo objetivo era capacitar os alunos a projetar um sistema estrutural de um edifício, além de examinar o papel do conhecimento qualitativo de estruturas de edifícios na formação dos arquitetos. Suas hipóteses foram as seguintes:

- a) o projeto estrutural não é um processo acidental: depende do conhecimento do *designer* e de sua experiência;
- b) cada arquitetura requer um sistema estrutural específico ou uma combinação de sistemas, dependendo do tipo de processo construtivo e dos materiais estruturais utilizados;
- c) é possível aprender a desenvolver um *design* estrutural adequado por meio da compreensão do processo construtivo e dos materiais estruturais;
- d) cada sistema estrutural requer algum conhecimento anterior, de modo que ele possa ser aplicado a uma nova situação;

⁸ Cabe ressaltar que Rebello (1992) também faz observação semelhante neste campo.

e) a literatura existente está focada nas características dos sistemas estruturais, ao invés de concentrar-se na melhor maneira de escolher um sistema que fosse mais adequado, criando assim novos sistemas.

Rebello (1999) elabora uma longa lista dos principais conceitos de estrutura, incluindo livros especializados nesta área. Sua tese oferece uma definição ilustrativa da estrutura como um caminho para as forças alcançarem as fundações. Passa então a explicar as soluções estruturais para cada projeto de construção, pelo desenho da geometria descrita em Engel (1981), incluindo o seguinte: conceito de forças, seção transversal, o conceito de tensão, a relação entre deformação e tensão, equilíbrio externo, equilíbrio interno, tensão, compressão e deformação (flambagem de Euler), centróide, momento de inércia, força de cisalhamento, momento de flexão, torque, relação entre materiais estruturais e forças internas, madeira, aço e características do concreto armado nos elementos estruturais. Estabelecendo uma cobertura abrangente desses temas, Rebello (2000) publica um livro completo no que concerne à área básica de estruturas.

A tese de Rebello (1999) tinha por objetivo a abordagem do projeto de estruturas por meio de critérios objetivos derivados da observação dos exemplos existentes nas edificações e fenômenos físicos, o que proporcionou um meio de classificar os projetos estruturais. Ele concluiu que não era possível dissociar forma de estrutura, a concepção de um edifício depende da concepção de sua estrutura, ao mesmo tempo requer conhecimento e experiência nesse campo. Sua tese foi o primeiro estudo a incluir uma discussão sobre a hierarquia das forças internas e forma das seções transversais, forças e material, material e seção transversal, material e custo/viabilidade, desempenho e manutenção. Ele considerou seis sistemas estruturais e examinou o modo como esses sistemas poderiam ser utilizados na concepção dos edifícios. Por outro lado, entretanto, não explorou a compreensão dos alunos acerca dos "conceitos básicos de sistemas estruturais"; e também não fez referência a outras teses e dissertações brasileiras que anteciparam seu estudo.

2.1.2 Outros Estudos

Nas publicações de Silva e Souto (2000) e Rebello (2000), ambos defenderam a necessidade de ajudar os alunos a compreender os sistemas estruturais mediante uma abordagem mais qualitativa. Apesar disso, esses autores não se preocuparam em examinar os elementos básicos dos sistemas estruturais e como esses se aplicam à composição estrutural. Outro estudo nesta área de conhecimento foi o de Di Pietro (2000) que desenvolveu uma metodologia que pode ser aplicada no ensino de estruturas. Em sua tese, ele defende que o conhecimento qualitativo sobre estruturas tem um papel útil a desempenhar nos cursos de arquitetura e de engenharia. Ainda que esta tese forneça um compêndio de informações técnicas sobre a estrutura, não propôs, entretanto, nenhuma abordagem específica de ensino ou aprendizagem.

Carrieri (2001) explorou as relações teóricas entre os aspectos conceituais de sistemas estruturais e o projeto de construção arquitetônica. Ele discutiu o ensino da estrutura em arquitetura, incluindo os processos de construção histórica, construção, design e noções elementares sobre carga, esforço e tensão interna, força e colapso (ruptura) no material estrutural, tipos de sistemas estruturais, materiais estruturais, processos de construção e pré-dimensões dos elementos estruturais. Seu material está organizado em sequência lógica para que alunos e professores possam seguir ao aprender sobre a estrutura. Isto inclui as principais características do processo de concepção e construção, destinado para melhorar a abordagem clássica de ensino. No entanto, apesar de sua abordagem parecer promissora, ele não ofereceu nenhuma evidência de sua aplicação empírica, e por isso continua a ser um estudo puramente teórico. Ao analisar tais estudos, ficou claro que as contribuições potencialmente importantes foram feitas no âmbito teórico curricular, sendo que esses estudos não incluem abordagens no que se refere à aprendizagem e à avaliação que possam ser utilizadas.

Calças (2009) analisou as práticas pedagógicas do professor em um curso de engenharia civil para estabelecer correlações entre o planejamento e as suas formas de avaliação. Sua pesquisa baseou-se em um estudo de caso qualitativo, e foram analisados fatores intrínsecos no processo de ensino da Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Questionários foram aplicados aos alunos, enquanto entrevistas semiestruturadas foram aplicadas ao corpo docente. A maioria

dos professores afirmou que o método de ensino convencional - a tradicional dupla "lousa e giz"- é agora obsoleta. Alguns alunos mostraram-se satisfeitos com os métodos convencionais, embora outros não. A discrepância entre os alunos pode ser atribuída ao conhecimento profissional adquirida em estágios e posteriormente em suas carreiras profissionais, o que vem revelar a inadequação dos métodos convencionais para as necessidades atuais da profissão.

Até agora, os autores brasileiros preocupados com o ensino e a aprendizagem de sistemas estruturais na arquitetura, colocaram mais ênfase no ensino do que na aprendizagem ou nos métodos de estudo e avaliação, que compõem as quatro áreas da educação: ensino, aprendizagem, avaliação e estudo. O primeiro estudo qualitativo de identificação e classificação de sistemas estruturais em que aparecem os parâmetros estruturais foi realizado por Lorrigo (1975). Depois vem Santos (1983) que demonstrou os parâmetros estruturais através de modelos físicos de elementos estruturais. Esses modelos foram utilizados para melhorar a compreensão dos conceitos de sistemas estruturais, enquanto outro estudo ilustra os sistemas estruturais incorporados e relacionados a um número de edifícios significativos (SANTOS, 1985). Em seguida, em seu mestrado, Rebello (1992) levantou pontos importantes sobre a facilitação da aprendizagem de estrutura nos cursos de arquitetura; os modelos físicos e os diagramas (L x h) (BALLAST, 1988) correlacionam os parâmetros dos sistemas estruturais.

Na pesquisa desenvolvida por Saramago (2011), a autora investigou o processo de transferência do conhecimento sobre estrutura nas principais Escolas de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. Fez um trabalho notável ao mapear o ensino de estruturas nas escolas de arquitetura brasileiras de uma forma histórica e científica, relatando, por exemplo, o 1º Encontro Nacional de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura, de 06 a 08 de junho de 1974, ano em que iniciei meu curso de Engenharia Civil na UEL. Esse encontro contou com a participação dos engenheiros Adolpho Polillo — minha primeira referência no ensino de estruturas para a arquitetura —, Mario Franco, Aluizio Margarido, e do único arquiteto Siegbert Zanettini, que afirmou o seguinte:

No ensino de Estruturas vigente nas escolas brasileiras: o excesso de abstração com disciplinas essencialmente quantitativas e verificativas, entre outros e a inadequabilidade da organização curricular da sequência de Estruturas, desconectada dos demais campos que compõem uma formação em Arquitetura. (ZANETTINI, S. apud SARAMAGO, 2011, p. 84).

Nas questões de aprendizagem, Saramago (2011, p. 86) relatou a experiência de se colocar o aluno em contato com o fenômeno estrutural a partir de uma abordagem conceitual, fazendo uso de recursos de aprendizagem por “ensaio e erro” como na manipulação de modelos. O prof. Aluizio Margarido, por exemplo, sequencia a atuação do aluno em três distintas fases: análise qualitativa que coloca o aluno em contato com o fenômeno estrutural e com a construção e manipulação de modelos físicos e mentais. Numa segunda fase, o aluno aprofunda os estudos fazendo uso de modelos quantitativos e compara com os resultados da fase intuitiva anterior. Numa terceira fase, o aluno desenvolve os projetos com os enfrentamentos das limitações de cada sistema estrutural de acordo com as possibilidades projetuais.

Outra experiência importante relatada por Saramago (2011, p. 98) refere-se ao canteiro experimental da FAU – USP, em que alunos controem protótipos dos sistemas estruturais o que com certeza os coloca num ambiente importante de aprendizagem. Os protótipos podem vir a se constituir em prova física dos conceitos fundamentais de cada sistema estrutural. Fazer com que os alunos percebam o fenômeno estrutural parece ser fundamental para levá-los a construírem os conceitos referentes a cada sistema estrutural.

A análise dos fenômenos físicos que envolvem o comportamento estrutural sempre foram explicados e ensinados por meio de fórmulas matemáticas advindas do conhecimento científico sobre estruturas a partir do século XVII. “*L’Architecture hydraulique* de Bernard de Bélidor (1698-1761), pioneiro em determinar a maneira de se transmitir o conhecimento científico como é feito até hoje, isto é, utilizando métodos matemáticos para explicar fenômenos físicos.” (SARAMAGO, 2011, p. 48). A inteligência lógico-matemática (GARDNER, 1993), identificada com maior frequência entre os engenheiros, permite fazer isso, vinculando cada fenômeno estrutural a determinadas fórmulas que relacionam os parâmetros envolvidos em cada análise.

Mais recentemente, com o advento do computador, os procedimentos de análise passaram a ser feitos por programas computacionais, o que não diminui a dificuldade de análise, uma vez que a alimentação dos dados e a interpretação dos resultados exigem domínio sobre os fenômenos estruturais envolvidos. Saramago (2011) mostra, em seu trabalho, a forte tendência do ensino baseado na transmissão de modelos numéricos, proveniente da existência de várias publicações que iriam influenciar a discussão sobre o ensino de Estruturas no Brasil.

Em outros países, têm sido realizadas mais pesquisas sobre os processos de aprendizagem e como os alunos respondem às demandas de cursos do ensino superior. Comentamos, a seguir, alguns desses estudos preocupados com a aprendizagem de assuntos técnicos. Ramsden *et al.* (1993, p. 301) observaram que:

Os professores do ensino médio e universitários do primeiro ano, muitas vezes se queixam de que seus alunos vêem a ciência da aprendizagem como uma tarefa que requer pouco mais do que memorizar conjuntos fixos de tipos de problemas e apresentam má compreensão dos conceitos subjacentes.

No contexto da engenharia, vários estudos têm investigado a aprendizagem da física e da mecânica. McDermott (1983) empreendeu uma "revisão crítica da pesquisa no domínio da mecânica", com um duplo objetivo: (i) examinar a compreensão conceitual dos alunos no domínio da mecânica e (ii) analisar a aprendizagem da física. Em seu artigo, incluiu algumas questões em aberto sobre a investigação prática dos fenômenos físicos e apresentou as respostas dos alunos com um comentário sobre as variações possíveis para os fenômenos físicos que observou.

Quase uma década depois, outro estudo, realizado por Thijs (1992), empregaria uma abordagem semelhante para avaliar uma disciplina introdutória de física sobre força, levando em conta os níveis prévios de entendimento da física newtoniana pelos alunos para produzir uma descrição qualitativa das formas em que eles dominaram a matéria. Uma abordagem diferente foi adotada por Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) em estudo sobre a aprendizagem da física: um questionário com respostas de múltipla escolha foi usado, denominado *Force Concept Inventory*, em que o aluno simplesmente tem de escolher uma resposta, em vez de elaborar uma adequada resposta por si mesmo.

O presente estudo indicou a necessidade de um domínio básico fundamental de cinco elementos estruturais que norteiam o funcionamento de todos os sistemas estruturais, e a partir dos quais o aluno poderá seguir analisando em maior profundidade e detalhes cada sistema em concreto, aço e madeira na sequência do curso de Arquitetura e Urbanismo. Por meio dos cinco elementos estruturais, o aluno pode ser incentivado a ter uma percepção intuitiva do comportamento estrutural (BALLAROTTI *et al.*, 2007). Existe uma diferença, contudo, na literatura técnica no que diz respeito à utilização dos parâmetros estruturais fundamentais (P, V, H - física e L, h - geometria) tanto para explicar os mecanismos estruturais de cada sistema estrutural, como para explorar o entendimento dos alunos. Todos esses autores adotaram o mesmo padrão da *Resistência dos Materiais* da literatura técnica clássica ao analisar a compreensão dos alunos de mecânica estrutural. Portanto, há uma necessidade preliminar de basear essa análise nos parâmetros e princípios mais elementares que explicam esses mecanismos. Esse estudo explorou esses parâmetros e mostrou “como” e “o que” os alunos podem fazer para melhorar a sua compreensão dos conceitos e fenômenos de sistemas estruturais.

2.2 FUNDAMENTOS DA FENOMENOLOGIA

A Fenomenografia surgiu a partir de estudos empíricos de aprendizagem no ensino superior realizado na Universidade de Gotemburgo, na Suécia, no início de 1970, e abordou questões como, por exemplo, qual a razão de alguns alunos apresentarem maior facilidade de aprendizado que outros - entre outras particularidades do cotidiano do ensino superior. Esses estudos foram desenvolvidos partindo de simples observações que podem ser feitas sobre a aprendizagem em condições comparativamente naturais e seu objetivo foi descrever o processo a partir da perspectiva próprio aluno.

De acordo com Marton (1981a), o interesse na Fenomenografia vai além da perspectiva educacional. Em termos filosóficos, descrevendo as diferentes formas em que experimentamos ou compreendemos o mundo em torno de nós, caracterizamo-lo como ele aparece. Isto é equivalente a caracterizar uma mentalidade coletiva, ao abraçar as diferentes formas em que somos capazes de dar sentido ao mundo (MARTON, 1981a). Fenomenografia pode, assim, ser adotada como uma metodologia de pesquisa. Uma descrição esquemática de como o "como"

e o "o quê" aparecem na estrutura da aprendizagem é mostrada na Figura 2.1, inserida logo adiante. Conforme esse esquema, quando os alunos empregam uma abordagem profunda, a sua intenção é compreender o conteúdo de forma a torná-lo pessoalmente significativo. Por outro lado, os alunos que adotam uma abordagem superficial visam reproduzir o conteúdo que assimilam apenas para reunir a quantidade mínima de informações necessárias para concluir a disciplina. Por outro lado, ao adotar uma abordagem holística, os estudantes procuram integrar e relacionar o material que eles estão estudando. Em compensação, ao adotar uma abordagem atomística, os alunos tendem a memorizar pedaços desconexos de informação sem a imposição de qualquer estrutura coerente do assunto, como é mostrado por Prosser e Millar (1989).

Figura 2.1 - Aspectos fundamentais da Aprendizagem.

Fonte: Prosser e Millar (1989, p. 515)

A relação entre abordagens superficial e atomística mostra como os alunos podem categorizar e memorizar pedaços desconexos de informação. Por outro lado, a relação entre uma abordagem profunda e holística mostra que os alunos podem extrair significado do conteúdo abstrato dos fenômenos e adquirir um sentido de envolvimento pessoal com os temas de estudo. Isto é ilustrado por Prosser (1994), que estabelece uma distinção entre as abordagens, como segue:

Na sua formulação original pelo grupo de Gotemburgo, abordagens para estudo e aprendizagem foram descritos como sendo holístico / profundo, por um lado, e de superficial / atomístico por outro. Holístico e atomístico se referem ao aspecto estrutural (ou *como*) da abordagem e superficial e profundo ao aspecto referencial (ou *o que*) da abordagem. (PROSSER, 1994, p. 203).

Figura 2.2 - Aspectos estruturais e referenciais da aprendizagem.

Fonte: Prosser (1994, p. 203).

O aspecto referencial, ou a abordagem de aprendizagem, pode portanto ser dividido em uma abordagem superficial, com foco no aumento do conhecimento para atender as exigências de uma disciplina de uma forma reprodutiva, e uma abordagem profunda, que dá prioridade à compreensão pessoal ao buscar explicações significativas. O aspecto estrutural contrasta com a abordagem “atomística” (que envolve memorização e categorização), e com o holístico (que envolve a busca de significados abstratos acentuando o envolvimento pessoal).

O diagrama da Figura 2.2 mostra a natureza da aprendizagem, quando o processo está intimamente relacionado com os resultados. Antes dos alunos poderem adquirir uma compreensão conceitual bem fundamentada, é necessário centrar a sua atenção em “o que” e “como” são as suas experiências de aprendizagem. A Fenomenografia surgiu a partir do estudo de diferentes maneiras de vivenciar o aprendizado. Nesta tese, alguns dos instrumentos elaborados deram aos alunos as orientações necessárias para ler os materiais da disciplina e descobrir por si mesmos como avaliar o que aprenderam e como eles tinham aprendido. A Fenomenografia realiza seu papel mapeando as formas qualitativamente diferentes

em que as pessoas experimentam, conceituam, percebem e compreendem os vários aspectos do mundo que as rodeia.

O "mundo físico" da arquitetura consiste, boa parte, num compósito material e em sistemas estruturais definidos. Desse modo, esta investigação consiste em verificar qualitativamente as diferentes maneiras que os estudantes experienciam ou pensam tais sistemas estruturais. Embora a Fenomenografia adotasse uma abordagem de raiz empirista - com a qual se tornou mais frequentemente identificada - ela inicialmente atribuiu maior ênfase a seus fundamentos teóricos, os quais lhe forneceram o necessário substrato ontológico e epistemológico para sua sustentação científica (MARTON, 1981a). Duas décadas mais tarde, contudo, as críticas do próprio Marton apontam para a necessidade de se expandir sua base teórica (MARTON; TSUI, 2004).

Essa expansão da base teórica aponta, por sua vez, para uma perquirição metodológica, onde, por exemplo, a Figura 2.3 (TRIGWELL, 2006) ilustra como a Fenomenografia está ligada à filosofia, e compartilha os métodos e resultados de outras abordagens utilizadas para investigar a experiência humana.

Conforme o esquema da Figura 2.3 são cinco formas em que Fenomenografia se caracteriza e difere de outras metodologias de investigação. No ponto 1 do diagrama, a Fenomenografia é mostrada como uma abordagem não dualista que diz respeito à pessoa ou ao objeto, como parte de um sistema. Seguindo o ramo do lado direito do diagrama, tem-se que Fenomenografia contém uma abordagem qualitativa (comparável ao estudo que realizou uma análise qualitativa da aprendizagem dos alunos já mencionada).

Figura 2.3 - Definindo Fenomenografia

Fonte: Trigwell (2006, p. 369).

Se uma abordagem de segunda ordem é adotada no ponto 3, o pesquisador não define o conteúdo, mas ele é descrito por outros participantes do ato investigativo. A experiência dos alunos aqui foi usada para elaborar os parâmetros estruturais que formam a base das análises. As análises fenomenográficas servem para observar as diferenças na experiência de um grupo de pessoas focando os principais aspectos de variação. Desta forma, as análises realizadas nesta tese se concentraram em aspectos-chave que destacam diferenças importantes. O objetivo da análise fenomenográfica pode ser definido como um meio de classificação de experiências que refletem diferenças na própria experiência.

Nesta tese, pretendemos estabelecer ligações internas entre as diferentes formas de experimentar o sistema estrutural. De acordo com Säljö (1996), um dos principais princípios da Fenomenografia é que ela parte de um ponto de vista ontológico não dualístico. No presente estudo, uma posição não dualística foi definida como uma posição em que o interno (percepção do estudante do sistema estrutural) e o externo (parâmetros estruturais) não são concebidos como entidades separadas.

Esta investigação, conduzida a partir de uma posição fundamentalmente não dualística, implica que existe uma relação entre um indivíduo e um objeto - nesse caso, a relação entre um estudante e um parâmetro estrutural. Isso significa que o sujeito e objeto de uma experiência não podem ser separados, e esta relação entre uma pessoa e o mundo significa que o que é experimentado não existe somente dentro do indivíduo, mas de alguma forma está constituída através de uma relação entre essa pessoa e o mundo. É essa visão relacional que constitui a base de uma epistemologia fenomenográfica, a partir de uma perspectiva ontológica não dualista, conforme a qual não existem dois mundos distintos, mas apenas um, que é experimentado por pessoas de maneiras diferentes. Do ponto de vista fenomenográfico, os alunos experimentam os parâmetros do sistema estrutural como um fenômeno em uma situação da vida real.

Na opinião de Marton (1996, p. 164), isso significa adquirir concepções, que ele descreve como "algo mais exigente de seu contexto, relacionando-o a algum contexto, discernindo suas partes e relacionando-os entre si e com o todo". Ele chama isso de concepções de processo, uma vez que são geralmente representadas, ou caracterizadas, na forma de categorias descritivas e, como Säljö (1996, p. 19) observa, "categorias de descrição servem como ferramentas para descrever concepções". Estas categorias de descrição são o resultado nominal de uma análise fenomenográfica, e elas são classificadas, nesta tese, em termos de três níveis de adequação: média, alta e baixa. Marton e Booth (1997) argumentaram que a categoria de descrição é "uma caracterização razoável de uma possível maneira de experimentar algo tendo os dados à mão".

As diferentes formas de experimentar um sistema estrutural representam diferentes graus de entendimento. Alguns são mais eficazes do que outros, uma vez que dependem de um dado critério de adequação que pode formar a base para o estabelecimento de uma hierarquia de categorias de descrição. Por exemplo, "adequação baixa" caracteriza-se por uma abordagem superficial e memorização irracional dos parâmetros estruturais. Por outro lado, o aluno que mostra uma adequação média ou alta tenta compreender as razões subjacentes às técnicas presentes nos conteúdos da disciplina.

Ao descrever "concepções do mundo que nos rodeia", Marton (1981a, p. 177, tradução nossa) afirmou que: "a partir da perspectiva de primeira ordem, descrevemos diversos aspectos do mundo, e na perspectiva de segunda ordem,

abrangemos experiência das pessoas sobre os vários aspectos do mundo." Em outras palavras, ele considera o foco na perspectiva do aluno sobre a experiência de aprendizagem como de "segunda ordem" em contraste com o "de primeira ordem" tradicionalmente utilizados em educação, em que a perspectiva das pessoas que estão sendo pesquisadas muitas vezes não é devidamente levada em conta. Marton e Booth (1997) mostram que diferentes "modos de viver" podem ser relacionados à forma como a consciência das pessoas está estruturada. Nesta abordagem, a aprendizagem engloba a capacidade de discernir os aspectos do fenômeno que antes não eram discernidos, e o discernimento de outros aspectos do fenômeno.

Em termos da fenomenografia, a aprendizagem é "uma mudança na capacidade de alguém experimentar algo de uma determinada maneira", (MARTON; BOOTH, 1997, p. 82); sendo sua aprendizagem afetada pela forma como a pessoa experimenta ou experiencia o fenômeno. Como ilustrado na Figura 2.4, os aspectos fundamentais da aprendizagem são *o que* e *como* as pessoas desenvolvem sua experiência de aprendizagem. *O que* se refere ao objeto direto de aprendizagem, ou seja, a maneira em que o objeto é experienciado ou compreendido. *O como* se refere ao ato de aprendizagem e o tipo de capacidade que o aluno está tentando adquirir. Ambos os aspectos da aprendizagem se relacionam com os aspectos estruturais e referenciais de aprendizagem, que têm horizontes internos e externos.

Aprender resulta da capacidade de experienciar de diferentes formas, o que representa uma variação do objeto indireto da aprendizagem, e os alunos desenvolvem suas tarefas de diversas maneiras o que constituem a variação do ato de aprender (MARTON; BOOTH, 1997, p. 92).

Figura 2.4 - A experiência de aprender.

Fonte: Marton e Booth (1997).

Marton, Dall'Alba e Beaty (1993, p. 277) argumentam que o horizonte do fenômeno é a maneira pela qual ele é delimitado e relacionado ao seu contexto. Eles acrescentam que "a maneira em que as partes que compõem o fenômeno se distinguem e são relacionados uns aos outros identifica o horizonte interno do fenômeno." Em sua análise dos modos de viver a aprendizagem, Marton e Booth (1997) levam em conta os aspectos referenciais e construtivos do problema, bem como o horizonte interno, quando categorizando a interpretação do fenômeno pelos estudantes: "Diferentes concepções de determinado fenômeno geralmente diferem tanto no que diz respeito à sua forma, como em suas partes componentes, que são delimitadas e relacionadas umas com as outras" (o aspecto estrutural), Marton *et al.* (1993, p. 278), sendo que o mesmo é verdade em relação ao "significado global do fenômeno" (o aspecto referencial). Em sua concepção de aprendizagem, Marshall (1995) a distingue entre quatro níveis: *o que* da aprendizagem, para descrever o objeto direto de aprendizagem, *o como* da aprendizagem, para compreender o ato de aprender e o objeto indireto de aprendizagem; horizonte externo, para explicar como a aprendizagem é delimitada a partir do seu contexto, e horizonte interno, para entender as partes componentes da aprendizagem.

2.3 A EXPERIÊNCIA DE PROSSER

Esta experiência é aqui apresentada, com destaque, pelo fato de conter procedimentos que foram replicados na pesquisa desta tese. Prosser e Millar (1989) realizaram uma série de estudos que visavam explorar "*o que e como* aprender física". Usando uma metodologia fenomenográfica para analisar suas respostas, os autores descrevem como os alunos do primeiro ano do curso de Física da Universidade de Sydney na Austrália, abordaram o assunto e o que eles realmente aprenderam. Os resultados desses estudos foram publicados nos periódicos em 1989, 1994, 1996 e 2000. Esses estudos são relatados aqui por causa de suas semelhanças com esta tese e o fato de que eles incluem um modelo analítico.

Prosser e Millar (1989) exploraram as dificuldades conceituais que os alunos apresentaram e os tipos de conceituações que produziram, no primeiro ano do curso de física, sobre o equilíbrio de forças de acordo com Newton. Um conjunto de concepções (três questões - tarefas orientadas) foi dado aos alunos participantes para que eles pudessem organizar suas explicações e usar os seguintes tópicos como ponto de partida:

- a) questões que envolvem a redução de velocidade;
- b) questões que envolvem velocidade zero;
- c) questões envolvendo velocidade constante.

Em questões envolvendo a redução da velocidade, os alunos têm que se concentrar em um dos dois conjuntos de forças: interno ou interno / externo. Ao lidar com as questões que envolvem velocidade zero as forças inerentes são reduzidas a zero, e no terceiro tipo, questões que envolvem a velocidade constante, os estudantes têm que focar ou a utilização de forças externas isoladamente ou de uma combinação de forças externas e internas.

Os alunos de física receberam também um conjunto paralelo de quatro questões sendo solicitados a explicar os fenômenos físicos envolvidos. Em sua análise, os autores foram capazes de classificar diferentes grupos de alunos. Eles acreditam que isso é essencial para obter um entendimento satisfatório do crescimento no aprendizado dos alunos. Observamos que todos esses procedimentos e abordagens foram bastante idênticos aos adotados nesta tese.

A sequência daquela experiência fenomenográfica foi um passo significativo no contexto da aprendizagem. Em seu estudo de 1994, Prosser alegou que os estudantes que adotaram uma abordagem profunda foram capazes de extrair significado pessoal a partir do material de estudo, enquanto que aqueles que adotaram uma abordagem superficial apenas reproduziam informações, o que sugere que eles estavam aprendendo de cor (*learnig by rote*), ou seja memorizando apenas. Prosser (1994) também realizou uma pesquisa qualitativa com vistas a encontrar a percepção intuitiva e compreensão conceitual dos participantes de certos fenômenos elétricos. Em suas questões, os alunos desenvolveram desenhos dos elementos e foram solicitados a descrever o que iria acontecer na experiência descrita.

A partir das respostas, concluiu-se que "enquanto a compreensão intuitiva é considerada contextual e relacional por natureza, o entendimento conceitual pode ser considerado mais descontextualizado e geral", (PROSSER, 1994, p. 202). No relatório de 1994, os resultados da análise de Prosser foram classificados em quatro grupos. O primeiro grupo é centrado no sistema de forças como um todo e instado a descrever o estado do sistema, em determinado momento. O segundo grupo é focado em todo o sistema, mas é instado a descrevê-lo em termos de suas partes, descrevendo as origens e os efeitos das forças que atuam sobre as peças. O terceiro grupo de novo é focado em partes, mas descreve tanto as origens e efeitos das forças que atuam sobre as peças. O quarto grupo tinha pouco foco conceitual, e era semelhante à baixa adequação utilizado nesta tese.

Um outro aspecto do qual esta tese procura se aproximar no âmbito dos estudos de Prosser foi no formato utilizado para a definição da escala de percepção: o seu estudo explorou a conceituação dos alunos sobre os fenômenos e os classificou em termos de profundo, provavelmente profundo, superficial e provavelmente superficial. Os termos equivalentes nesta tese são baixa adequação (semelhante a superficial); média adequação (semelhante a provavelmente superficial ou provavelmente profundo); alta adequação (semelhante a profundo). Tendo estabelecido as categorias de classificação, os questionários foram classificados de acordo com as categorias. Prosser, Walker e Millar (1996) analisaram uma amostra de 330 questionários em uma pesquisa realizada na terceira semana do primeiro semestre. Eles descobriram que a maioria dos estudantes adotou uma abordagem superficial e apenas alguns deles estavam

realmente procurando ampliar o seu próprio entendimento ou tentando relacionar a física com o mundo real, embora a maioria deles reconhecesse que a física está intimamente relacionada com o mundo real em torno deles. As ideias e as conclusões dos alunos foram agrupadas por categorias e são mostradas como segue:

- a) as respostas com base na capacidade inata ou esforço pessoal;
- b) as respostas com base em alguém buscando entendimento ou buscando relacionar os conceitos com outras disciplinas e / ou experiência anterior;
- c) as respostas relacionadas com experiências do mundo real, ou a construção de modelos sobre o mundo real;
- d) as respostas com base no interesse do aluno sobre o assunto.

O autor fornece exemplos dos resultados de cada uma das quatro categorias acima. Ele explica como são elas, fornecendo uma transcrição das conclusões relevantes dos alunos participantes. Esses resultados permitem efetuar uma avaliação mais pormenorizada dos efeitos das categorias - auxiliando, inclusive, nas avaliações que realizamos em nosso estudo. Ao mesmo tempo, outro conjunto de correlações pode ser adicionado.

Com base em uma amostra de 132 alunos do primeiro ano dos cursos de Física de duas universidades australianas, Prosser *et al.* (2000) mostraram que o entendimento anterior dos alunos sobre os conceitos-chave era sistematicamente relacionado com a forma como abordavam seus estudos, suas percepções do contexto de aprendizagem relacionado com a qualidade dos resultados. Os dados foram coletados nas semanas iniciais e finais de um semestre. Por meio de perguntas abertas e uma tarefa tipo mapa conceitual, foi investigada a percepção dos alunos sobre fenômenos físicos. A análise fenomenográfica de Prosser foi realizada à luz de categorias pré-determinadas (PROSSER, 1994), e um conjunto de novas categorias foi elaborado em relação aos dados. Havia quatro níveis de descrição: a) sistema fora de foco; b) sistema visto em parte; c) todo sistema visto em partes; d) sistema visto como um todo. Um mapa conceitual foi criado para encontrar a maneira pela qual os alunos interpretam certos conceitos-chave em fenômenos de eletricidade.

Outra vez, uma categorização semelhante foi realizada para esta tese, que levou em conta três níveis de adequação. Como veremos, os resultados sugerem que os alunos com abordagens inadequadas e pouca consciência da matéria são aqueles que tiveram o pior conhecimento prévio e compreensão dos conteúdos – com o mais fraco resultado no final do semestre. O aspecto chave da análise de Prosser diz respeito à natureza do conhecimento dos alunos e compreensão dos fenômenos em seu estudo de física e como esta é afetada pela sua consciência parcial e limitada. Confirmamos o papel vital do conhecimento prévio e compreensão na qualidade da aprendizagem dos alunos no estudo de ciências a nível universitário. Como já afirmamos⁹, o objetivo desse estudo foi descobrir a natureza das concepções e dificuldades que os alunos têm. Por isso adotamos uma abordagem fenomenográfica semelhante e empregamos os mesmos procedimentos: os alunos foram convidados a responder questões que seriam avaliadas em termos de adequação alta, média ou baixa, para entender “como” e “o que” eles compreendem acerca de certos fenômenos estruturais. O estudo envolve a aplicação da avaliação de um determinado sistema estrutural, que lida com questões abertas e diagramas. Os estudantes de arquitetura nesse experimento mostram os tipos de dificuldades conceituais que têm e os tipos de conceituações que eles formam - tudo isso sob a escala da adequação.

2.4 A PERCEPÇÃO DE FENÔMENOS PELO ALUNO

De acordo com Ramsden (1987), as respostas e reações que os alunos manifestam às situações que eles percebem, pode ser bastante diferente do que é definido por seus professores. Marton e Boot (1997) argumentam que as formas em que as pessoas experimentam fenômenos podem ser reveladas pela pesquisa fenomenográfica e isso mostra como diferentes formas de experimentar fenômenos refere-se à forma como a consciência das pessoas está estruturada. O desafio principal desse estudo foi elaborar instrumentos para explorar a percepção dos alunos sobre os mecanismos utilizados em sistemas estruturais e orientar a sua aprendizagem nesse campo técnico. Como os alunos aprendem pode ser explorado

⁹ Nesta tese, um procedimento similar foi implementado para encontrar a maneira pela qual os alunos compreendem os conceitos-chave de estrutura com base em cinco parâmetros, o que foi realizado por meio de um instrumento de avaliação (TRA) que permite aos alunos escrever e desenhar como num mapa conceitual.

em termos longitudinais nos dados, que tinham de ter em conta as mudanças ao longo de toda a disciplina, desde o início até o final do semestre de 17 semanas.

O que os alunos aprendem pode ser explorado também em uma secção transversal dos dados, visto que os registros foram realizados em três ocasiões. No início e no final da disciplina, os alunos são submetidos a um teste que consiste numa abordagem de aprender conceitos (TRA: Tabela do Resultado do Aprendizado). Durante o semestre, os alunos desenvolvem uma tarefa que consiste em ler os principais autores sobre sistemas estruturais e registrar num inventário os principais conceitos e definições (TED: Tabela Estudo Dirigido) e também são monitorados por outro instrumento que marca as etapas da Metodologia da Problemática ao longo da disciplina (TPS: Tabela do Protótipo e Seminário) que serve para acompanhar o desempenho dos alunos. No final do semestre, através do instrumento TRA já utilizado no início da disciplina, os alunos preenchem as duas páginas desse inventário cinco vezes - um para cada sistema estrutural (ENGEL, 1981) – com o objetivo de mapear a percepção dos alunos sobre todos os sistemas estruturais.

As percepções de aprendizagem dos alunos são em si uma forma de revelar a extensão de sua aprendizagem e capacitá-los para contextualizar o 'objeto' de seus estudos. O objeto é “o que” aprendem e o assunto representa “como” eles aprendem e se envolvem em seus estudos. No contexto da taxonomia, isso significa que, como os alunos mudam como pessoas, elas podem melhorar o que eles internalizaram, para que possam realizar atividades no contexto do ambiente da aprendizagem. Ao mesmo tempo, o que eles aprenderam se torna parte deles próprios e isso segundo Marton é uma visão construtivista do processo de aprendizagem, no contexto da Fenomenografia.

Para entender o processo de aprendizagem, deve-se ter em conta a forma como os alunos compreendem o 'objeto', o que eles aprendem e como a situação envolvida na aprendizagem é entendida pelos alunos. Quando se estuda o processo de aprendizagem, há um paradigma dominante positivista ocorrendo em algum lugar no contexto educacional. Esse estudo baseado na Fenomenografia está preocupado em explorar a relação entre “o que” e “como” os alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo aprendem sobre sistemas estruturais. Há evidências de que uma relação pode ser estabelecida entre o resultado (o que: “superficial” ou “profundo”) e do

processo de aprendizagem (como: holístico ou atomístico) que são dois aspectos do mesmo contexto/conjunto.

Lea, Stephenson e Troy (2003) investigaram a percepção dos estudantes de ensino superior e atitudes de aprendizagem centradas no aluno. Eles examinaram os aspectos do processo de ensino / aprendizagem que demonstram as principais diferenças entre uma abordagem centrada no aluno, em oposição a uma abordagem tradicional que é centrada no professor. Dois fatores devem ser destacados:

- a) Resultados da aprendizagem: relatar os resultados de aprendizagem e de aquisição de conhecimentos e habilidades, especialmente habilidades pertinentes e aplicáveis ao mundo real em uma abordagem centrada no aluno, em vez de ter pouco ou nada a dizer nesse assunto;
- b) A relação professor-aluno: respeito do professor para com os alunos, vontade de tratá-los como adultos, o prévio conhecimento e reconhecimento de sua experiência, construção cooperativa de conhecimento, o reconhecimento de que, por vezes, o professor aprende com os alunos (em contraste com as atitudes paternalistas), o professor como especialista, considerar a ignorância do aluno sobre o processo e conteúdo da aprendizagem.

Phillips (2000) investigou o efeito do uso de modelos físicos em engenharia estrutural. Esta abordagem demonstrou a importância de incentivar os alunos no seu trabalho, estimulando sua imaginação, capacidade criativa e de iniciativa no projeto conceitual deles e dando-lhes confiança nas suas habilidades. Ele tentou reproduzir muitas das características encontradas em circunstâncias do projeto real. É importante entender como um curso inovador afeta as abordagens dos alunos na aprendizagem sobre estrutura.

Marshall (1995) realizou um projeto de pesquisa que analisou abordagens dos alunos na aprendizagem no ensino superior. Em particular, ele analisou como concepções de aprendizagem dos estudantes influenciam suas abordagens na aprendizagem, bem como seus resultados de aprendizagem. Foi um estudo de um ano, que não só examinou a relação entre concepções de aprendizagem, abordagens e os resultados da aprendizagem, mas também como concepções dos estudantes de ensino, aprendizagem e abordagens a desenvolver durante o ano. A estrutura utilizada explorou três dos estudos já existentes: a taxonomia de

concepções de aprendizagem (MARTON; DALL'ALBA; BEATY, 1993), os níveis de abordagem de profundidade e superficialidade de (RAMSDEN, 1987) e da estrutura do resultado de aprendizagem observado (Structure of Observed Learning Outcome - SOLO) da taxonomia de Biggs e Collis (1982). Marshall (1995) realizou um estudo para examinar a relação entre concepções de aprendizagem, abordagens para aprender, e aprender resultados entre um grupo de estudantes em um programa de engenharia. Ele explorou esta relação tanto no nível da disciplina como em nível de tarefa, em áreas onde a pesquisa delineia um ano de mudança - e há mudanças nas concepções dos alunos sobre a aprendizagem, como resultado de uma metodologia qualitativa com base no inventário de abordagens de estudo (Approaches to Studying Inventory - ASI), o questionário de aprendizagem e entrevistas.

O estudo de Marshall fornece ainda evidências de que as concepções construtivas de aprendizagem estão associadas a uma predisposição para a aprendizagem mais profunda e uma abordagem flexível para definir o nível da tarefa para os alunos. Outra prova de que as concepções de aprendizagem e suas predisposições mudaram durante o ano foram encontradas na forma como eles responderam ao ambiente de aprendizagem que tinha sido criado por eles. Os critérios dos testes de avaliação e a postura epistemológica percebida do ensino foram os fatores que tiveram maior influência sobre as abordagens dos alunos na aprendizagem. A mudança entre concepção de aprendizagem "superior" e predisposições para aprendizagem ocorreram durante o ano, em resposta ao ambiente de aprendizagem; essas mudanças são particularmente associadas com os requisitos de avaliação e percepção epistemológica do ensino. Como resultado do trânsito dessas teorias, o debate sobre o assunto vem se intensificando, promovendo uma discussão sobre as características essenciais do processo de aprendizagem em engenharia.

Hirota (2001, p. 169), uma colega que ensina tanto na arquitetura como em cursos de engenharia, realizou um estudo no Reino Unido, com base na "Action Learning" estratégia de Knowles, Holton e Swanson (1998), no qual ela contrasta as características do novo com o método convencional. Isto levou à reação dos estudantes em declarações como "o importante é o que eu faço " - versus - " se vale a pena explorar as oportunidades e manter a aprendizagem" e "o conteúdo é realmente importante " - versus – "conteúdo e o processo são importantes ". Ao explorar esta questão em sua pesquisa, Hirota (2001) demonstrou que o processo

de aprendizagem no contexto mundial profissional de formação dos estudantes no curso de Engenharia Civil, por exemplo, deve ser orientado para o processo de aprendizagem ao invés do processo reprodutivista.

O estudo desta tese procura mostrar que uma concepção de aprendizagem e de aquisição de conceitos e o entendimento de fenômenos estão associados com predisposições de aprendizagem dos alunos. Houve uma grande flexibilidade na abordagem a um nível de tarefa, o que permitiu que as respostas dos alunos para os instrumentos criados para ser explorado de forma qualitativa. No entanto, as mudanças longe de concepções de aprendizagem "superiores" e predisposições ocorrem durante a disciplina, em resposta ao ambiente de aprendizagem; essas mudanças são particularmente associadas com requisitos de avaliação e as formas que os alunos perceberam a postura epistemológica do ensino. O estudo também forneceu um relato detalhado da interação complexa entre a percepção dos alunos de um contexto de ensino e aprendizagem e suas abordagens à aprendizagem. Em termos práticos, isso mostra o quanto é importante para compreender, a partir da perspectiva do aluno, como o contexto de aprendizagem da disciplina é percebido.

3 METODOLOGIA

Esse capítulo apresenta, inicialmente, o delineamento da pesquisa: o problema, as questões de pesquisa e as hipóteses do estudo. Na sequência, aborda os instrumentos e os procedimentos desenvolvidos para analisar os processos de aprendizagem dos conceitos fundamentais de sistemas estruturais dos alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Esta investigação avalia a experiência de dois grupos de estudantes do segundo ano do Curso de Arquitetura com relação à sua compreensão do conteúdo e dos conceitos de estruturas. Os processos de aprendizagem desses alunos foram analisados a partir de uma perspectiva fenomenográfica, durante um semestre, no período de 18 semanas de aulas. O desempenho foi avaliado utilizando-se diferentes instrumentos projetados especialmente para ajudá-los a entender esses conceitos. A natureza desses instrumentos permitiu ao pesquisador coletar dados enquanto o curso estava em andamento, ou seja, os alunos foram observados em um cenário real.

A seguir, relata-se como a pesquisa se desenvolveu em dois ciclos, mostrando de que forma o problema, as questões e as hipóteses se relacionam com os procedimentos de aprendizagem dos conceitos fundamentais de sistemas estruturais, no início do Curso de Arquitetura.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esse estudo teve como ponto de partida a seguinte questão de pesquisa: Como promover a aprendizagem de sistemas estruturais nos cursos de arquitetura?, e se desenvolveu em dois ciclos, o primeiro fundamentado na problematização e o segundo, na Fenomenografia.

A seguir apresenta-se uma síntese desse desenvolvimento na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Delineamento da Pesquisa.

Fonte: O autor.

3.1.1 Primeiro Ciclo: Ensino de Sistemas Estruturais

No primeiro ciclo, foram explorados os problemas e os pontos de conceituação da aprendizagem de sistemas estruturais.

a) **Problema:** dificuldade do aluno de entender e do professor de explicar o funcionamento dos sistemas estruturais

A dificuldade no ensino e na aprendizagem de sistemas estruturais de professores e alunos, no Curso de Arquitetura e Urbanismo, pode estar associada à falta de compreensão dos fundamentos de sistemas estruturais. A estratégia utilizada foi desenvolver instrumentos para explorar a percepção dos alunos dos conceitos fundamentais desses sistemas. Experiências anteriores mostram que muitos estudantes têm dificuldade em compreender os conceitos abstratos envolvidos nas disciplinas de estruturas e acabam sendo incapazes de aplicar os

conceitos de estruturas no contexto das disciplinas de projeto e depois no mundo profissional.

b) **Questão:** Quais são os problemas/pontos de conceituação da aprendizagem de sistemas estruturais?

Como os alunos desenvolvem seus conceitos de sistemas estruturais? Para responder a essa pergunta, esse estudo parte da premissa de que a condição para se entender o funcionamento dos sistemas estruturais é o aluno conhecer os elementos estruturais básicos.

Como o aluno aprende os conceitos básicos? Quais são os conceitos básicos? Essas questões levaram a estudar e a encontrar caminhos que indicassem os prováveis conceitos básicos fundamentais.

Além disso, deve-se considerar quais são as diferentes abordagens adotadas pelos alunos quando aprendem os conceitos de estruturas; quais parâmetros estruturais fundamentais eles entendem; quais parâmetros estruturais básicos estão aptos a contextualizar e se podem desenvolver conceitos sobre esses parâmetros.

No capítulo cinco, de análise e discussão, serão apresentados alguns resultados observados nas coletas de 2005 sobre esses aspectos.

Considera-se, portanto, que bastaria ao aluno conhecer esses elementos estruturais básicos para entender o funcionamento das estruturas. Com isso, a primeira hipótese foi a de definir esses elementos estruturais básicos, o que nos levou a identificar *5 Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF)* (BALLAROTTI *et al.*, 2007) presentes em todos os sistemas estruturais.

c) **Hipótese:** a partir do conhecimento dos conceitos básicos, o aluno pode ter condições de entender o funcionamento dos sistemas estruturais.

No primeiro ciclo do estudo, chegou-se à hipótese de que o professor pode explicar e o aluno pode entender o mecanismo de qualquer sistema estrutural a partir de 5 elementos (força externa, vão, reações, forças de tração e compressão e altura útil), conforme se apresenta no capítulo quatro.

a) **Resultado:** identificação da primeira hipótese: os 5 elementos

Tendo partido da premissa de que a condição para se entender o funcionamento dos sistemas estruturais era principalmente o aluno conhecer os elementos estruturais básicos, chegou-se aos 5 elementos. Com isso, a primeira hipótese foi a de definir esses elementos estruturais básicos, o que levou a identificar *5 Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF)* (BALLAROTTI *et al.*, 2007) presentes em todos os sistemas estruturais.

3.1.2 Segundo Ciclo: Alunos de Arquitetura aprendendo Sistemas Estruturais à luz da Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e da Fenomenografia.

Nesse ciclo, foram apresentados os procedimentos de como promover o aprendizado de estruturas com a Fenomenografia e a Teoria dos 5 Elementos.

Quando se busca entender melhor o processo de aprendizagem propriamente dito, encontra-se a Fenomenografia (MARTON; SALJO, 1976a, 1976b, 1984), por meio da qual desenvolvem-se os procedimentos de análise baseados no nível de adequação da percepção de cada aluno sobre o fenômeno estrutural. A pesquisa prosseguiu, portanto, focando questões de aprendizagem e utilizando a Fenomenografia com base em Saljo (1979, 1988, 1996), Saljo e Wyndhamn (1990), Marton (1981a, 1981b, 1996), Marton e Booth (1997), Marton, Dall'Alba e Beaty (1993), Marton e Pong (2005), Marton, Runesson e Tsui (2004b), Marton e Saljo (1976a, 1976b, 1984), Marton e Tsui (2004a), Prosser e Millar (1989), Prosser, Walker e Millar (1996) e Prosser *et al.* (2003).

a) **Problema:** aprendizagem dos sistemas estruturais com os 5 elementos

Esse estudo concentra-se em investigar como dois grupos de alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL desenvolvem suas ideias sobre sistemas estruturais e examinar como essas ideias evoluem ao longo do curso.

As questões de pesquisa e os instrumentos que serão utilizados para registrar os esses conhecimentos são apresentados a seguir.

b) **Questão:** como promover a aprendizagem dos alunos de arquitetura com os 5 elementos?

As perguntas de pesquisa segundo as quais esse estudo se desenvolve são:

- 1) Como as ideias dos alunos sobre os sistemas estruturais se desenvolvem?
- 2) Quais (*what*) são as diferentes abordagens que os alunos adotam ao aprender os conceitos estruturais?
- 3) Como (*how*) essas abordagens sobre as estruturas se desenvolvem durante um curso semestral?
- 4) Quais parâmetros estruturais fundamentais os alunos entendem?

c) **Hipótese:** o aluno deve não só identificar, mas também relacionar esses cinco elementos entre si, no contexto de cada sistema estrutural.

Na sequência do estudo, percebeu-se que identificar os cinco elementos não era suficiente para entender o mecanismo de cada sistema estrutural. Com isso, surge uma segunda hipótese, que é o aluno não só identificar, mas também relacionar esses cinco elementos entre si, no contexto de cada sistema estrutural, o que levou aos *Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais* (CFSE), (BALLAROTTI *et al.*, 2007). Tem-se, portanto, que os CFSE se constituem do Comportamento Estrutural (CE), que abrange o modelo teórico com os elementos físicos e geométricos, do Mecanismo (M), que consiste no mecanismo de tração e compressão do sistema, e do Equilíbrio (E), que consiste no sistema de alavanca de equilíbrio presente em todos os sistemas, o que se constitui nas concepções necessárias para que se entenda o funcionamento de cada sistema estrutural. Com isso irão se estabelecer os níveis de adequação da percepção dos fenômenos a serem observados em cada análise estrutural, de acordo com a identificação (i) e as relações (r) que o aluno desenvolve sobre os 5 elementos.

Através do TED, do TPS e do TRA descritos no item 3.2, o aluno indica por meio de textos e desenhos sua percepção sobre os sistemas estruturais existentes e sobre aqueles que o próprio aluno desenvolve para construir o protótipo de sua equipe de trabalho.

d) **Resultado:** identificação das diretrizes para o ensino/aprendizagem de sistemas estruturais com a Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais.

Com a Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e a aplicação da Fenomenografia, foram encontradas diretrizes que permitem identificar níveis de aprendizagem dos sistemas estruturais. Dessa forma, pôde-se acompanhar e promover a mudança de nível de adequação do aprendizado do aluno por meio das análises desenvolvidas sobre os dados coletados nesse estudo. No capítulo 4, apresenta-se a Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais, que se constitui numa abordagem de como são gerados esses elementos de acordo com as leis da física e as demais disciplinas do curso nas quais se estuda a origem de cada um desses elementos.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de investigar o processo de estudo (TED), de ensino (TPS) e de avaliação (TRA) de Sistemas Estruturais, foi desenvolvido um estudo com os alunos do segundo ano do Curso de Arquitetura e Urbanismo. Para a realização desse estudo, foram criados instrumentos de pesquisa com a finalidade de monitorar como conceitos e fenômenos de sistemas estruturais são interpretados e apreendidos pelos participantes/alunos. Esses instrumentos foram concebidos para permitir que todo o processo fosse explorado em profundidade.

O estudo investigou como dois grupos de trinta alunos desenvolviam suas ideias sobre sistemas estruturais, durante um semestre (18 semanas). Nesse período, foram observados e analisados os parâmetros que os alunos identificavam e relacionavam. Trata-se de um estudo de caso num contexto de pesquisa quase experimental. Conforme definido por Robson (1993, p. 5), um estudo de caso é uma estratégia para fazer a pesquisa que envolve uma investigação empírica de um fenômeno particular contemporâneo dentro de seu verdadeiro contexto de vida usando múltiplas fontes de evidência. Como o estudo foi realizado no ambiente natural de um curso universitário, o único critério necessário para ser um participante era estar matriculado como estudante no grupo. Considera-se um projeto quase experimental uma vez que "um estudo quase-experimental é um projeto de pesquisa

que envolve uma abordagem experimental, mas onde a atribuição aleatória de tratamento e grupos de comparação não tem sido utilizada" (Robson; 1993, p. 98).

Nesta seção detalha-se cada ciclo desse estudo, apresentando os instrumentos (materiais) e procedimentos (métodos) desenvolvidos para coletar dados. Inicialmente, adotou-se a metodologia da Problemática (BORDENAVE; PEREIRA, 1989), que serviu de modelo para guiar a construção dos instrumentos de coleta de dados (BERBEL, 1999). No primeiro ciclo, descreve-se como o principal instrumento para explorar o processo de aprendizagem foi desenvolvido, assim como os instrumentos subsidiários. No segundo ciclo, com base na Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e no processo de aprendizagem da Fenomenografia (MARTON; SALJO, 1976a, 1976b, 1984), encontram-se as diretrizes do processo ensino e aprendizagem dos conceitos básicos dos sistemas estruturais.

3.2.1 Primeiro Ciclo – Estudo exploratório abordando ensino, estudo e avaliação

Questão: quais são os problemas de ensino de sistemas estruturais?

Nesta seção, apresenta-se como foram orientados os instrumentos para desenvolver os estudos exploratórios referentes ao estudo (TED), avaliação (TRA) e ao ensino (TPS) de sistemas estruturais.

Método: estudo exploratório abordando estudo, avaliação e ensino.

A metodologia da Problemática (BORDENAVE; PEREIRA, 1989) serviu de modelo para guiar a construção do instrumento de estudo (TED) e orientar o programa da disciplina para desenvolver um estudo exploratório em busca do ensino dos sistemas estruturais. A Figura 3.2 apresenta, a seguir, as cinco fases epistemológicas da metodologia da Problemática (BERBEL, 1999).

Figura 3.2- Etapas do programa da disciplina.

SISTEMAS ESTRUTURAIS	
1 SE	Edificação a ser estudada
2 SE	Escolha do ponto-chave a ser estudado
3 SE	Estudo teórico do Sistema Estrutural
4 SE	Projeto e maquete do protótipo do sistema
5 SE	Construção, teste e avaliação do protótipo

Fonte: O autor.

Nessa fase do estudo, acreditava-se que o problema de ensino de sistemas estruturais pudesse ser resolvido pela aplicação de uma nova metodologia na disciplina, a metodologia da Problemática; que os conceitos estruturais fundamentais pudessem ser identificados pelos alunos, ao desenvolverem a terceira fase do programa (3 SE – Estudo teórico do Sistema Estrutural), quando os contextos teóricos são generalizados e exigem que os alunos busquem informações, conceitos e definições na literatura técnica. Percebeu-se, porém, que o aluno tinha dificuldade em ler os textos técnicos. Com o intuito de ajudá-los a superar essa dificuldade, foi criado o primeiro instrumento de orientação em leitura técnica: uma planilha (TED). Esse instrumento forneceu aos alunos informações sobre como ler o inventário de cada um dos cinco sistemas estruturais. Trata-se de um instrumento de estudo e ensino.

Tabela de Estudo Dirigido - TED

A tabela de estudo dirigido é um instrumento desenvolvido para orientar a leitura e a forma de o aluno estudar a parte teórica do curso. A planilha foi produzida pelo autor e parceiros (BALLAROTTI; NAMPO, 2000; BERBEL, 1999) para ajudar os alunos a buscarem os conceitos estruturais com base em suas próprias percepções sobre a literatura técnica. Um dos aspectos pedagógicos importantes no **terceiro grau** é o fato de esse instrumento propiciar a orientação dos alunos na forma de estudar sozinho na biblioteca ou em casa, sem supervisão direta do professor. Esse instrumento inclui questões abertas e permite que os alunos escrevam e desenhem o que concebem dos fenômenos estruturais dos sistemas. Tem sido utilizado também para explorar as ideias dos alunos no contexto da literatura técnica e sua percepção sobre seu próprio desempenho. Pode-se, por meio dele, observar como os alunos leem - e escrevem sobre - os principais conceitos de sistemas estruturais durante o semestre e que ideias eles aplicam a cada sistema estrutural.

Para o uso correto do instrumento (Figura 3.3), foram estabelecidos cinco passos, que vão descritos a seguir.

1º passo: O preenchimento da tabela começa com a leitura dos textos. Os alunos são orientados a buscar as definições e conceitos que melhor definem o sistema estrutural abordado. Em seguida, fazem a transcrição (**transcreva**) indicando o § e a página. Eles devem copiar apenas uma parte do texto e não o texto todo, visto que o texto, na íntegra, encontra-se no livro do referido autor.

Figura 3.3- TED – Tabela Estudo Dirigido

TED – Tabela Estudo Dirigido		Data:
Nome:		Turma:
Sistema:		Equipe:
Complete os quadros abaixo ‘recortando’ as citações dos livros, transcrevendo assim fielmente a definição de cada autor do assunto a ser estudado. Encontre e transcreva as definições e conceitos dos principais elementos estruturais do corrente sistema de dois ou três autores nos quadros abaixo.		
Autor 1: Yopanan Rebello, 2000	Autor 2:	Autor 3:
§1º...quando uma barra horizontal, apoiada em seus extremos..... (p.98)		§2º... ao sofrer essa deformações, as seções transversais giram. (p.98)
Compare as definições de cada autor no contexto do assunto em pauta, separando as que:		
Coincidem:		Divergem:
ex.: o que autor 2 relatou no §3º p.35 é o mesmo que o autor 1 relatou no §2º p.76; ...		ex. a definição dada no §4º p.84 pelo autor 3 diverge da definição do §3º p.37 do autor 2.
Descreva, de forma resumida , os principais conceitos de acordo com os autores acima;		Elabore um mapa conceitual (diagrama) sintetizando os principais conceitos e definições do sistema em estudo;
Dê sua própria definição/conceito sobre o assunto:		Desenhe , de forma esquemática, em corte ou perspectiva, uma obra que contenha os sistemas em foco:
Descreva com suas próprias palavras o que significou para você elaborar esse estudo dirigido: dúvidas e sugestões: o que ainda não entendeu e o que sugere fazer para facilitar esse aprendizado. Descreva, também, o que descobriu de novo e o que já sabia e confirmou lendo nos livros ou pesquisando em outras fontes.		

Fonte: O autor.

2º passo: Tendo feito as leituras e as transcrições, o aluno irá comparar (**compare**) as definições de cada autor e identificar quais coincidem e quais divergem. Nesse momento é que os alunos devem fazer, de fato, a interpretação e a análise dos conceitos.

3º passo: O aluno deve resumir as principais definições (**resumida**) de acordo com os autores e fazer um mapa conceitual (**diagrama**) com os principais conceitos do sistema utilizando palavras-chave.

4º passo: Finalmente, o aluno dá a sua definição (**dê sua própria definição/conceito**), mesmo que precoce e sem muita segurança, e desenha (**desenhe**) uma obra que contenha a estrutura do sistema em foco.

5º passo: No último passo, o aluno é convidado a expressar “**o que significou**” fazer essa tarefa. Na parte final da planilha, o aluno registra o quê e como essa experiência particular de estudo ajudou no entendimento dos sistemas estruturais. Descreve, também, o que descobriu de novo e o que já sabia e confirmou lendo nos livros ou pesquisando em outras fontes.

Quando os dados do instrumento são analisados, é evidente que o grau de adequação depende de como são focados os aspectos dos sistemas estruturais. O desenhar e o escrever devem ser classificados de forma diferente, e isso deve corresponder aos aspectos que um significado tem no contexto explorado. É importante levar em conta todos os aspectos da compreensão dos alunos dessas três dimensões a serem analisadas (CE, E e M). O instrumento (TED), no entanto, é mais largamente direcionado à dimensão CE, que explora a forma como os alunos olham para o fenômeno e procuram determinar se a sua compreensão pode ser científica, conceitual ou intuitiva.

Na disciplina, os alunos são divididos em 5 equipes e cada equipe é alocada tendo um sistema estrutural como foco para a preparação do seminário, embora todas tenham que estudar os demais sistemas para completar sua aprendizagem: Equipe 1: cabo, arco e membrana; Equipe 2: treliças; Equipe 3: vigas, pórticos e grelhas; Equipe 4: cascas; Equipe 5: sistemas verticais. A Figura 3.4 sugere a sequência de preenchimento das tabelas de cada sistema durante o semestre, começando pelo sistema de cada equipe. Cada equipe começa, portanto, por pesquisar seu próprio sistema e, em seguida, os dos outros. Os alunos devem seguir essa sequência e completar a sua tarefa ao cumprir o calendário do plano de curso.

Figura 3.4 - Planilha de sequência de tarefas – do 1º ao 5º.

Planilha					
Equipe	1	2	3	4	5
System					
Cabos/arcos	1º	2º	2º	2º	2º
Treliças	2º	1º	3º	3º	3º
Vigas/grelhas	3º	3º	1º	4º	4º
Cascas	4º	4º	4º	1º	5º
Edifícios altos	5º	5º	5º	5º	1º

Fonte: O autor.

Tabela do Protótipo e do Seminário – TPS

Esse instrumento foi desenvolvido como um desdobramento do TRA para seguir e organizar cada um dos cinco passos metodológicos do curso, sendo aplicadas cinco vezes durante o semestre. Trata-se de um instrumento de aprendizagem e avaliação, que é aplicado aos alunos ao final de cada etapa da disciplina como uma forma de organizar o estudo.

Figura 3.5 - R - Registro Estrutural em CE, E e M.

CE Comportamento Estrutural – a geometria e as forças agindo no sistema:	Croqui
E Modelo teórico com a tração e a compressão no sistema	Descrever como ocorre a tração e a compressão no sistema.
M Alavanca num modelo do sistema com os 5 elementos estruturais:	Descrever como os 5 elementos geram o equilíbrio através da alavanca no sistema

Fonte: O autor.

Durante o semestre, o aluno vai pesquisar e tentar descobrir como o sistema funciona através da leitura (TED), dos trabalhos em equipe na preparação do seminário e na construção do protótipo (TPS), e da utilização dos modelos de laboratório físico-didáticos. A aplicação desse instrumento ajuda o aluno a fazer a

referência de ligação dos elementos estruturais (PEF), em que todos os 5 elementos trabalham em conjunto para proporcionar a transmissão das forças, por exemplo. Isso pode sugerir, no entanto, que, quando se trabalha em cada sistema estrutural, o estudante depende de um mecanismo desconhecido ou sistema, e a compreensão é determinada por um mecanismo desconhecido. É provável, portanto, que exista um mecanismo específico que transmite forças através de um determinado sistema.

Figura 3.6 - R - Estudante XX - Interpretação de CE, M e E.

CE <i>Scanning</i> :	
Comentários:	<i>Translation</i> :
M <i>Scanning</i> :	
Comentários:	<i>Translation</i> :
E <i>Scanning</i> :	
Comentários:	<i>Translation</i> :

Fonte: O autor.

Durante o curso, os resultados desta análise - adequação alta ou baixa - podem ser usados para dar *feedback* aos alunos e, assim, proporcionar-lhes orientações sobre como melhorar suas percepções dos fenômenos dos sistemas estruturais. A oportunidade de aprendizado final terá lugar no final do semestre, após a apresentação do seminário, quando os alunos preenchem as tabelas do instrumento TRA, como se verá a seguir.

Tabela do Resultado do Aprendizado - TRA

Instrumentos (materiais) e procedimentos (métodos)

A tabela do resultado do aprendizado é o principal instrumento utilizado para explorar os fenômenos de sistemas estruturais descritos nas questões de pesquisa, no contexto do 2º ano dos cursos de arquitetura. Trata-se de um sistema de instrumentos de aprendizagem e avaliação que foi utilizado para explorar a percepção dos alunos sobre os sistemas estruturais: Tabela do Resultado do Aprendizado, Guia de Orientação dos Alunos e Guia de Orientação do Professor. Esse instrumento é aplicado, tanto no início (como um pré-teste) como no final do curso, como um meio de investigar a compreensão dos sistemas estruturais pelos estudantes. O nível de adequação das manifestações dos estudantes depende de qual aspecto dos sistemas estruturais é focado, considerando o desenhar e o escrever de forma diferente, dependendo do significado do contexto explorado. É importante levar em conta todos os aspectos da compreensão dos alunos para essas três dimensões escolhidas (CE, E e M), que representam os conceitos fundamentais (CFSE). Por meio dessas dimensões, esse estudo explora a forma como os estudantes olham para o sistema estrutural e procura determinar se o seu entendimento poderia ser científico e conceitual ou apenas intuitivo.

No preenchimento das tabelas dos instrumentos, o esboço feito pelos alunos demonstra o modo como percebem que o sistema estrutural é associado com cada uma das dimensões (M e E), que manifestam o equilíbrio e o mecanismo. A correlação entre os cinco parâmetros fundamentais pode ser explorada e os parâmetros classificados em termos de detalhe e precisão. É esperado que os estudantes sejam capazes de representar os sistemas estruturais cientificamente por meio dos parâmetros fundamentais estruturais (PEF). A pergunta que precisa ser analisada é: Até que ponto a interpretação do aluno sobre o fenômeno estrutural é "profunda" ou "superficial", quando esse fenômeno é associado com o significado de cada PEF?

Figura 3.7 – TRA - Guia de Orientação dos Estudantes sobre CE, E e M.

Composição Estrutural	Descrição	
CE	Descrição do modelo teórico do sistema, de acordo com a literatura, considerando as forças que atuam e sua configuração geométrica.	
Mecanismo	Desenho	Descrição
M	Desenhar o modelo teórico e indicar onde ocorre a tração e a compressão no sistema.	Descrever como ocorre a tração e compressão no sistema.
Equilíbrio	Desenho:	Descrição:
E	Desenhar a alavanca num modelo do sistema com os 5 elementos estruturais	Descrever como os 5 elementos geram o equilíbrio através da alavanca no sistema

Fonte: O autor.

Na Figura 3.8 apresenta-se o modelo de tabela a ser utilizada para analisar as respostas dos alunos nas dimensões CE, E e M seguidas dos comentários do pesquisador sobre os resultados.

Figura 3.8 - TRA - Interpretação do aluno sobre CE, E e M.

Composição Estrutural	<i>Scanning:</i>	
CE	Comentários:	
Mecanismo	<i>Scanning:</i>	
M	Comentários:	Comentários:
Equilíbrio	<i>Scanning:</i>	
E	Comentários:	Comentários:

Fonte: O autor.

Por meio das tabelas TRA preenchidas pelos alunos, é possível seguir as identificações e as relações que eles estabelecem através do PEF para cada sistema estrutural. Nesse contexto, espera-se que os estudantes percebam como os PEF trabalham nas três dimensões dos sistemas estruturais. Com isso, esse instrumento deveria revelar diferenças entre os modos de os alunos raciocinarem (interpretarem) sobre o mecanismo estrutural. Ele foi projetado para permitir explorar a compreensão dos alunos dos parâmetros científicos de uma forma mais simples e intuitiva (conceito de equilíbrio, a representação de vetores, correlação física e geométrica etc.). De um modo geral, o aluno, obviamente, não tem um domínio completo do fenômeno ou habilidade para entender toda física, geometria e álgebra vetorial envolvidas na interpretação dos sistemas estruturais. Cada aluno, no entanto, de alguma forma, explora todos os aspectos do sistema estrutural, pois o instrumento requisita que ele forneça um esboço (desenho) e uma descrição (escrita) dos fenômenos.

Figura 3.9 - TRA - Guia de Orientação do Professor sobre CE, E e M.

Composição Estrutural CE	Descrição CE i,r O estudante deve identificar os cinco elementos estruturais. Em seguida, deve correlacionar esses elementos entre si, considerando as características físicas e geométrica do sistema.	
Mecanismo M	Desenho Mi O estudante deve desenhar o modelo teórico identificando onde ocorrem a tração e a compressão no sistema.	Descrição Mr O estudante deve descrever como ocorrem a tração e a compressão relacionando os 5 elementos no equilíbrio do sistema.
Equilíbrio E	Desenho Ei O estudante deve desenhar a alavanca num modelo, identificando os 5 elementos agindo no sistema.	Descrição Er O estudante deve descrever como os 5 elementos agem na alavanca, relacionando as ações no mecanismo do sistema.

Fonte: O autor.

Resultado: identificação da 1ª hipótese – os 5 elementos (PEF)

Na Figura 3.9, pode-se observar que, na dimensão CE_{i,r}, os parâmetros abordados devem ser identificados e descritos pelo aluno no texto. Nas dimensões Ei e Mi, o aluno deve desenhar o modelo teórico e indicar (i) os parâmetros. Nas dimensões Er e Mr, o aluno deve relacionar (r) os parâmetros entre si.

Nesse estudo, são explorados os conceitos teóricos de sistemas estruturais através dos Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais (CFSE), que cobrem as três dimensões CE, E e M, que são apoiados pelos cinco Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF). Como já foi colocada, a dimensão da Concepção Estrutural (CE) envolve a identificação dos cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF) inter-relacionando esses parâmetros às características físicas e geométricas do sistema.

3.2.2 Segundo Ciclo

Instrumentos (materiais) e procedimentos (métodos)

No segundo ciclo, os alunos de arquitetura aprendem sistemas estruturais à luz da Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e da Fenomenografia. Considerando que só identificar os cinco elementos não é suficiente para entender o mecanismo de cada sistema estrutural, surge uma segunda hipótese: o aluno deve não só identificar, mas também relacionar os cinco elementos entre si, no contexto da Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais (Capítulo 4).

Questão: como promover a aprendizagem com os 5 elementos?

O objeto de estudo desta pesquisa é a análise da percepção dos alunos sobre os conceitos e princípios estruturais abstratos, que não podem ser vistos e tocados diretamente, e isso explica por que muitos alunos têm dificuldades em compreendê-los.

A composição estrutural CE, o mecanismo M e o equilíbrio E foram selecionados a partir dos Conceitos Fundamentais do Sistema Estrutural. A lista completa é a seguinte: sistema estrutural, parâmetros estruturais, características dos parâmetros, o material estrutural, composição estrutural CE, mecanismo M, equilíbrio E, *design* e execução do protótipo. A análise será desenvolvida com base

nesses conceitos, cujos fenômenos podem ser explorados pelos alunos dentro dos parâmetros estruturais fundamentais, como segue:

L - vão; extensão; braço de alavanca externa

h - altura útil (altura da viga, a altura da treliça, altura do arco) braço de alavanca interna

P - força pontual concentrada

V - reação vertical

H - forças tração e compressão relacionadas com a alavanca h

PXL - momento externo - momento fletor

Hxh - momeno interno - momento resistente

De acordo com o Capítulo 4, em que se apresentou a Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais, o braço h gera uma alavancagem (momento resistente) Hxh , ou seja, braço de alavanca z (distância entre o centro de compressão e o centro de tração) - Seward (1998, p. 175). Momento é um parâmetro da álgebra vetorial usado na Resistência dos Materiais e na Mecânica (TIMOSHENKO; GERE, 1972). De acordo com Ballarotti *et al.* (2007), existem dois tipos de vetores que representam os parâmetros estruturais fundamentais (FSP) da seguinte forma:

Figura 3.10 - Vetor força (P , V e H) e braço de alavanca (L e h).

Fonte: O autor.

Para entender e interpretar os mecanismos dos sistemas estruturais (CFSE em três dimensões: CE, M e E), o aluno precisa conhecer os PEF, saber representá-los e indicá-los nos sistemas estruturais e, finalmente, relacioná-los entre si.

Os cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF: P, L, V, H e h) podem ajudar os alunos a aprenderem os conceitos fundamentais do sistema estrutural (CFSE nas três dimensões: CE, E e M), que derivam da parte teórica central da concepção estrutural. Esses cinco elementos estruturais representam a base dos três conceitos fundamentais de sistemas estruturais. A hipótese seguinte é, então, apresentada: o processo de identificação e vinculação dos cinco parâmetros estruturais fundamentais tem uma relação direta com a aprendizagem dos conceitos estruturais (conceitos fundamentais de sistemas estruturais). A percepção e a correlação dos cinco elementos estruturais feitas pelos estudantes devem cobrir os novos conceitos.

Método: Estudo com aplicação da Fenomenografia: “o quê” e “como”

O nível de aprendizagem é classificado nesse estudo como sendo de alta, média e baixa adequação e se estabelece de acordo com “o quê” o aluno identifica em relação aos PEF e “como” ele identifica e relaciona esses parâmetros entre si.

O pressuposto desse estudo é que “o processo de identificar e relacionar os *5 parâmetros estruturais fundamentais (PEF)*” tem uma influência direta no aprendizado dos conceitos de estruturas, ou seja, nos *conceitos fundamentais de sistemas estruturais* (CFSE: CE, M e E). A percepção e a correlação, feitas pelos alunos, dos *cinco parâmetros estruturais fundamentais* nos sistemas estruturais existentes podem levá-los a criar seus próprios conceitos, ou seja, levá-los a entender o mecanismo estrutural dos principais sistemas.

Mais especificamente, pretende-se mapear a percepção desses alunos sobre os fenômenos estruturais a serem observados nos sistemas estruturais, conhecer como esses alunos desenvolvem a sua compreensão e em que consiste essa compreensão de fenômenos estruturais, classificando-as em três níveis: alta adequação, média adequação e baixa adequação (*high, middle and low adequacy*). Nesse contexto, não se trabalha mais com o conceito reprodutivista de certo ou errado e sim com o conceito de adequação que leva o aluno, junto com o professor, a construir, a partir das suas percepções elementares do fenômeno, conceitos mais

elaborados e, portanto, de *high adequacy*, de acordo com os autores Prosser e Millar (1989), Prosser (1994), Prosser, Walker e Millar (1996), Prosser *et al.* (2000, 2003), Marton e Booth (1997), Marshall (1995) e Case (2000).

A aprendizagem se efetiva de acordo com a forma (ver taxonomia da Fenomenografia) como o aluno desenvolve sua percepção sobre os mecanismos e as aplicações dos sistemas estruturais fundamentais nas edificações.

A partir disso desenvolve-se toda a problematização que leva ao desenvolvimento dos estudos voltados às questões da aprendizagem. Um dos objetivos desse estudo é mapear os graus de percepção dos alunos, que pode ser entendida da seguinte forma:

- a) Como: holística (foco no todo) ou atomística (foco nas partes) – *aspecto estrutural*,
- b) O que: profunda (foco no significado) ou superficial (foco na reprodução) – *aspecto referencial*, de acordo com Prosser e Millar (1989), que parametrizam os três níveis de adequação que serão utilizados para interpretar e categorizar os dados nesse estudo.

O experimento se desenvolveu com os alunos do segundo ano do curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL na disciplina de Sistemas Estruturais. Esses alunos cursaram, no primeiro ano, entre outras, as disciplinas de matemática (Cálculo Diferencial e Integral), de geometria (Desenho Geométrico e Geometria Descritiva) e de desenho (Representações Tridimensionais e Desenho Projetivo).

Os procedimentos adequados para a amostragem e as questões éticas serão considerados, seguidos pela análise dos dados coletados e pelas perguntas de pesquisa. Ao esquema da investigação descrito, seguirá uma discussão de questões relacionadas à metodologia empregada no estudo. E, por fim, virá a discussão sobre os meios adotados para garantir a confiabilidade, a validade e a generalização dos resultados.

Conforme sugerido na disciplina de metodologia (IAU 5822), a pesquisa-ação poderá ser uma estratégia de pesquisa indicada para esse estudo, de acordo com as etapas de desenvolvimento sugeridas por Robson (2002, p. 218), embora não tenha sido utilizada ainda.

A concepção e a aplicação dos instrumentos de pesquisa empregados no estudo para investigar os processos de aprendizagem dos alunos serão descritas a seguir. Reafirma-se, primeiro, a forma como os instrumentos foram concebidos,

depois descreve-se como os três principais instrumentos foram preparados para examinar a aprendizagem e proceder à análise. Em seguida, o uso dos instrumentos será explorado em termos de resultados de pesquisa, análises preliminares, e será feita a validação dos dados de pesquisa.

Está sendo considerado um estudo de curta duração longitudinal (18 semanas) sobre como os alunos adquiriram seus conceitos. Poderá também ser considerado como um estudo de caso, pois, como definido por Groat e Wang (2002, p. 343) e Robson (1993, p. 5), "um estudo de caso é uma estratégia para fazer a pesquisa que envolve uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo particular dentro do contexto de vida real usando múltiplas fontes de evidência". Desde que o estudo seja realizado em ambiente natural de um curso universitário, o único critério necessário para ser um participante era o de ser matriculado como estudante no grupo. Um projeto quase-experimental foi adotado, visto que "uma experiência quase-experimental é um projeto de pesquisa envolvendo uma abordagem experimental, mas em que a atribuição aleatória de tratamento e os grupos de comparação não foi utilizado", segundo Robson (1993, p. 98) e Groat e Wang (2002, p. 355).

Durante o semestre, todos os instrumentos foram preenchidos pelos alunos e, posteriormente, recolhidos pelo professor de acordo com um cronograma previamente definido no programa da disciplina. Os dados obtidos entre os alunos do segundo ano de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina-PR, durante um semestre em 2012, foram analisados, assim como outros confirmatórios em 2013 e 2014. O objetivo era conhecer como esses alunos desenvolvem a sua compreensão dos fenômenos estruturais e em que essa compreensão consistia. Isso permitiu ao pesquisador distinguir maneiras distintas de compreensão e estimular uma discussão sobre o sistema estrutural com os alunos. Maneiras diferentes de interpretar os instrumentos e os textos eram vistas como estar em um relacionamento mutuamente lógico. Cada um dos diferentes entendimentos foi interpretado no contexto dos sistemas estruturais, e o foco foi sobre as características especiais que seriam empregadas para formar um conjunto de categorias descritivas.

Resultado: identificação das diretrizes do ensino/aprendizagem com a Fenomenografia e a Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais.

Uma análise preliminar foi desenvolvida para compreender a aprendizagem dos alunos por meio dos dados coletados em 2012 como um estudo piloto. Uma análise qualitativa foi empreendida para encontrar as categorias de adequação criadas que pudessem ser usadas para classificar a percepção dos alunos, de acordo com a sua compreensão, dos principais conceitos de sistemas estruturais, tendo em vista as mesmas dimensões, parâmetros físicos e geométricos. Através dos instrumentos criados para coletar dados, pôde-se analisar cada aluno e, ao final, fazer um resumo identificando os parâmetros e as relações entre esses parâmetros apontando, ainda, as dificuldades apresentadas pelos alunos na conceituação dos fenômenos estruturais.

Ao buscar uma explicação mais detalhada de como os alunos aprendem, Marton e Saljo (1976a, 1976b) formularam a teoria da Fenomenografia. Essa teoria investiga o processo de aprendizagem, começando pela experiência dos alunos, concentrando-se nas suas formas de pensar no assunto que desejam aprender. Os autores afirmam que, para uma compreensão completa do processo de aprendizagem, é necessário ter uma visão completa do ponto de vista dos alunos. Na Fenomenografia, o entendimento do processo de aprendizagem é baseado em descrições dos próprios alunos.

Na análise principal, com base nos dados coletados entre 2012 e 2014 utilizando os mesmos instrumentos, o nível de entendimento dos alunos será aferido por meio de sua escrita e de seus desenhos esquemáticos dos modelos teóricos de sistemas estruturais. As categorias extraídas a partir dos dados revelarão como os conceitos dos alunos se formaram e quais foram as dificuldades manifestadas. As conclusões e o exame de como essas categorias se relacionam com os conceitos fundamentais de sistemas estruturais e as implicações para a avaliação, o estudo e a aprendizagem também serão explorados. Serão discutidas as percepções dos alunos com base no contexto teórico dos sistemas estruturais. Também serão incluídos nessa análise comentários sobre paradoxos nesse campo técnico de aprendizagem quanto aos conceitos abstratos de sistemas estruturais.

Ao examinar as relações lógicas encontradas entre as diferentes formas de compreensão do sistema estrutural, a classificação será estabelecida entre as categorias, o que é chamado de um sistema de adequação. A adequação revelou a

profundidade em que o sistema estrutural tinha sido compreendido. Referindo-se a essa adequação, as categorias descritas poderão ser comparadas para se determinar se elas preencheram os critérios de particular, e do nível de compreensão que elas representavam. A palavra “adequação” não se refere apenas à diferença, mas também a em que medida os entendimentos dos alunos foram satisfatórios. Um sistema classificatório descritivo poderia ter sido adotado sem levar a “adequação” em conta, mas isso teria sido apenas olhar para as diferenças individuais ou as rotas para a compreensão e teria ignorado a integridade (ou adequação) da compreensão. Já que o objetivo do presente estudo (pedagógico, bem como de pesquisa) é perceber como os alunos compreendem esses conceitos, é importante avaliar “quão bem” eles desenvolvem a sua compreensão conceitual (RAMSDEN *et al.*, 1993, p. 302).

Confiabilidade não é um valor por si mesmo, mas uma pré-condição para a validade. De acordo com Lincoln e Guba (1985), uma medição confiável pode não ser válida, e a confiabilidade geralmente é testada pela replicação do processo de medição ou avaliação. Confiabilidade, portanto, diz respeito à replicabilidade dos resultados da pesquisa, ou seja, se o estudo fosse repetido, sua confiabilidade forneceria uma indicação do grau em que os mesmos resultados seriam obtidos (LINCOLN; GUBA, 1985). A confiabilidade pode ser melhorada mediante triangulação na coleta de dados - do questionário TRA, que oferece um relato das abordagens dos alunos para conceitos de aprendizagem, e da folha de registro estruturado TPS que fornece evidência de sua abordagem ao curso, juntamente com a planilha de estrutura que registra a sua leitura do material TED.

Nesse estudo, essa questão será desenvolvida da seguinte forma:

- fornecer uma descrição abrangente das concepções dos alunos acerca dos sistemas estruturais, juntamente com um relato detalhado da sua classificação.
- dar uma descrição dos instrumentos utilizados nesse estudo que poderiam ser replicados em qualquer outro estudo;
- descrever o contexto em que a aprendizagem dos alunos teve lugar para permitir aos leitores discernir as semelhanças e diferenças entre esse contexto e outros.

Com base na Teoria dos Parâmetros Estruturais Fundamentais e na Fenomenografia, esta pesquisa explora as percepções que os alunos têm dos fenômenos envolvidos nos cinco principais sistemas estruturais (ENGEL, 1981). Com a experiência adquirida há vários anos lecionando em um curso em que alunos de arquitetura têm que dominar o funcionamento dos sistemas estruturais, foi possível conceituar cinco Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF) que funcionam em todos os sistemas estruturais e afirmar que todos esses sistemas são baseados no princípio da alavanca. No entanto “o quê” os alunos entendem desses parâmetros e “como” esse entendimento ocorre depende de sua própria conceituação¹⁰ sobre cada sistema estrutural, conforme será estudado aqui.

Esta pesquisa tem como objetivo identificar os distintos modos de os alunos participantes perceberem as estruturas, em que aspectos dos mecanismos estruturais eles se focam e em que grau se dá o seu entendimento da mecânica dos sistemas estruturais. Esse resultado levantará questões importantes para a resolução desse problema, buscando melhorar as metodologias de ensino e de aprendizagem que são empregadas nesse domínio técnico.

¹⁰ A forma como cada aluno experiêcia o fenômeno estrutural pertencente ao sistema estrutural em questão.

4 A TEORIA DOS PARÂMETROS ESTRUTURAIS FUNDAMENTAIS

Esse capítulo apresenta uma abordagem mais detalhada e minuciosa desses parâmetros estruturais fundamentais (PEF) com o objetivo de fundamentar alunos e professores para o ensino/aprendizagem dos sistemas estruturais básicos. Trata-se de uma forma sintética e completa de entender como determinado sistema estrutural¹¹ funciona, fundamentada nas áreas de conhecimento das disciplinas do próprio curso de arquitetura. Durante anos ministrando a disciplina de Sistemas Estruturais, percebeu-se que os alunos requisitam mais aprofundamento nos princípios teóricos dos PEF. Cada um dos PEF fundamenta-se em determinada área de conhecimento que é desenvolvida em outras disciplinas do curso de arquitetura, a saber:

P (força) – Mecânica das Estruturas

V (reação) – Mecânica dos Solos e Fundações

H (força interna) - Resistência dos Materiais

h (altura útil) - Concreto Armado, Madeira e Metálica

L (vão) - Projeto Arquitetônico

Essa síntese, que considera apenas esses cinco elementos na análise dos sistemas estruturais, baseia-se no fato de que todos os sistemas trabalham com tração e compressão, sejam eles edificados pelo homem ou os existentes na natureza: o corpo humano (ossos: compressão; tendões: tração), árvores (fibras tracionadas de um lado e comprimidas de outro), a casca do ovo (parte externa de cálcio resistindo à compressão e a membrana interna resistindo à tração) e assim por diante. Isso equivale a dizer que, em todos os sistemas estruturais, existem cabos (resistindo à tração) e arcos (resistindo à compressão).

A Figura 4.1 ilustra a conexão da Teoria das Estruturas com a teoria “simplificada” dos 5 elementos (PEF) proposta nesse capítulo.

¹¹ Todo sistema estrutural funciona, em última análise, com tração e compressão, e é fundamentado na análise de tensões principais (TIMOSHENKO; GERE, 1972, p. 134).

Figura 4.1 - Tensões principais na viga em balanço (a) e bi-apoiada (b).

Fonte: Timoshenko e Gere (1972, p. 134).

No caso das vigas, por exemplo, tem-se a trajetória das tensões principais que sugerem arcos (linhas pontilhadas) e cabos (linhas cheias) conforme a Figura 4.1. Além das vigas, poderão ser identificados os cabos e arcos presentes nas cascas, nas treliças, ou seja, em todos os sistemas. Na Figura 4.1(a), tem-se uma viga em balanço em que as linhas curvas contínuas indicam tração e a tracejada, compressão. Observa-se que, na Figura 4.1(b), há uma inversão da posição dessas linhas, visto que a tração passa a ocorrer na parte de baixo da viga bi-apoiada. Assim, pode-se considerar que todos os sistemas trabalham com tração e compressão e que o entendimento desses sistemas começa pela identificação da natureza desses esforços.

Os parâmetros estruturais fundamentais estão presentes em todos os sistemas estruturais e atuam na composição básica essencial desses mecanismos. Todos os sistemas estruturais trabalham com tração e compressão (H_t e H_c), sendo essas forças separadas por um braço (h) cuja grandeza depende do vão (L) e das características do sistema no qual atuam forças (P) que se transmitem através dos sistemas até as fundações (V).

Figura 4.2 - Esquema estrutural representativo de viga com os PEF.

Fonte: UEL (2007).

De outra forma, sob o ponto de vista didático, podem-se considerar CINCO ELEMENTOS ESTRUTURAIS BÁSICOS (PEF) presentes em todos os sistemas, apesar de cada sistema estrutural ter suas particularidades e de terem sido desenvolvidas teorias e formulações específicas para cada um deles. Através dos PEF pode-se explicar e entender o funcionamento básico de cada sistema estrutural, o que pode ser feito através das duas perguntas “o quê” e “como” (ou *what and how*) da Fenomenografia. O aluno costuma confundir quem gera com quem provoca determinada ação relativa aos PEF. Quem gera cada elemento estrutural define “o quê” (*what*) eles são. Quem provoca o surgimento deles na estrutura é a ação de cada um dos cinco elementos, definindo o “como” (*how*) eles agem e reagem entre si. “O quê” e “como” podem ser vistos como os dois fundamentos de qualquer sistema estrutural, a partir de onde se pode explicá-lo e entendê-lo. Assim, o entendimento dos PEF pode dar-se em duas etapas: na primeira, identifica-se a origem dos PEF; na segunda, como eles interagem.

Na primeira etapa, os alunos são questionados por meio da seguinte pergunta: quem gera cada um dos PEF? Dessa forma, busca-se entender a origem

de cada um dos PEF, pesquisando a origem de cada um deles, o que define “o quê” (*what*) são eles:

- a) P é gerado pela ação da gravidade sobre a massa da viga e da laje, da parede e demais elementos que se apoiam na viga (física – estática - 2ª Lei de Newton);
- b) V é a reação de apoio gerada pela fundação que apoia o peso do pilar e do bloco no solo (mecânica dos solos);
- c) Hi são as forças internas geradas pela resistência do material estrutural da viga, resultantes das tensões de tração (Ht) e compressão (Hc) (resistência dos materiais);
- d) h é a distância entre Ht e Hc gerada pelo projetista estrutural ao dimensionar a viga de acordo com os parâmetros de resistência e deformação exigidos pelas normas;
- e) L é o vão livre que é gerado pelo arquiteto ao projetar a edificação, de acordo com a necessidade de vãos livres exigida pelo programa de necessidade e partido arquitetônico.

Na segunda etapa busca-se entender “como” (*how*) cada um dos PEF age no sistema estrutural; como cada um dos PEF age e se relaciona com os demais elementos entre si. Por exemplo, considera-se a mesma viga bi-apoiada com uma força P concentrada que age no centro do vão L provocando as forças internas horizontais de tração embaixo e compressão em cima (Ht e Hc) distantes “h” uma da outra (braço interno de alavanca), equilibrando internamente o sistema. Essas forças Hi transmitem a força P para os apoios, que reagem com forças V separadas pelo vão L (braço de alavanca externo), equilibrando externamente o sistema. Ainda explicando o “como”, pode-se dizer que a ação do binário P–V age empurrando o centro da viga para baixo e reagindo, e que a ação do binário Hc-Ht tenciona a viga para cima, equilibrando-a pelo princípio da ação e da reação (3ª Lei de Newton).

Dessa forma, fundamentam-se a razão de ser e o entendimento dos PEF na explicação do mecanismo estrutural de cada sistema estrutural. Assim, entender o mecanismo estrutural significa entender como cada um dos PEF é gerado e “o quê” representam e “como” são as relações entre eles.

Como os alunos aprendem a fazer pelo Sketchup¹² a representação do projeto de uma edificação a partir do primeiro ano de curso, busca-se relacionar na estrutura contida na edificação projetada os PEF presentes no projeto. No desenvolvimento dessa teoria que se apresenta a seguir, demonstra-se numa sequência de imagens, a transformação de uma situação real em uma situação esquemática desses PEF presentes na estrutura da edificação.

Com isso, pretende-se que o aluno consiga perceber o que é cada um dos PEF e de que forma eles se relacionam com a estrutura, que é o objetivo desse capítulo. A Figura 4.3 apresenta um modelo que representa uma edificação real em 3D de onde serão retirados os elementos que compõem os PEF. A edificação contém os elementos estruturais básicos e os elementos de vedação que serão utilizados para representar quem gera os cinco PEF e a relação entre eles.

Figura 4.3 – Modelo 3D de uma edificação.

- (1) Alvenaria (q1)
- (2) Pilar apoiado em viga (P2)
- (3) Laje (q3)
- (4) Viga bi-apoiada (nos pilares)
- (5) Viga em balanço (engastada no pilar)
- (6) Viga apoiada em viga (Q6)

Fonte: o Autor.

¹² Sketchup é um *software* para desenho.

4.1 A ORIGEM DOS PARÂMETROS

É na primeira etapa que o aluno busca entender a origem de cada um dos PEF, pesquisando de onde vem cada um deles e o que define “o quê” (*what*) são eles. Para isso, os alunos são questionados através da seguinte pergunta: quem gera cada um dos PEF? A origem de cada um desses parâmetros deve ser discutida pelo professor e entendida pelos alunos para que eles comecem a ter consciência do fenômeno estrutural relacionando o modelo teórico com a estrutura da edificação no mundo real. É necessário observar o contexto da Fenomenografia, ou seja, de que forma o aluno irá experienciar cada um dos parâmetros e onde se pode analisar se seu aprendizado foi superficial ou profundo. Portanto, “*what*” leva àquilo que é experienciado (de forma superficial ou profunda), revelando o significado do aprendizado.

Quem gera “P”, que representa nesse estudo todas as forças externas que irão atuar nos elementos estruturais?

Como indicado na Figura 4.3, a alvenaria (1) representa uma força distribuída (q_1) ao longo da viga composta/derivada da somatória do peso dos tijolos, da argamassa e do revestimento. O pilar (2) apoia uma viga superior e transfere o peso (P_2) para a viga (4). A laje (3), por sua vez, transfere o seu peso e forças que suporta (q) para as vigas 4, 5 e 6. A viga bi-apoiada (4) recebe o peso da laje (q_3), o peso da parede (q_1) e o peso do pilar (P_2) e se apoia em outros dois pilares. A viga apoiada em viga (6) recebe o peso da laje (q_3) e o transfere para a extremidade do balanço da viga cinco (Q_6). A viga em balanço (5) recebe a laje 3 (q_3) e a viga 6 (Q_6).

A força (P), portanto, que nesse estudo irá representar todas as forças externas que atuam na estrutura, embora nem sempre seja uma força pontual, é gerada pelo peso próprio da estrutura e pelos elementos de massa que a estrutura sustenta, como, por exemplo, paredes, lajes, outros elementos estruturais como vigas e pilares, que se apoiam na referida estrutura, além das sobrecargas de ocupação da edificação e forças devidas ao vento. Com isso, a força (P) é gerada pela ação da gravidade que age na massa desses elementos e pela ação do vento na edificação. Na disciplina de Mecânica das Estruturas, segundo Dias *et al.* (2011), o aluno encontra os fundamentos da teoria que aplica o conceito da 2ª Lei de

Newton. Ilustrações serão muito bem vindas, tendo em vista a inteligência espacial¹³ característica do arquiteto, porque com elas podem-se representar edificações indicando os elementos que geram as forças (P). Portanto, P é gerado pela ação da gravidade que age na massa dos elementos gerando o peso da viga e da laje, parede e demais elementos que se apoiam na viga (Física – Estática - 2ª Lei de Newton).

No exemplo da Figura 4.3 acima, há duas situações de força concentrada P . A primeira é a força P_2 , que representa o peso que o pilar 2 transfere da viga superior para a viga bi-apoiada inferior 4.

Figura 4.4 – Força P_2 na viga bi-apoiada 4.

Fonte: O autor.

- 1 Alvenaria (q_1)
- 2 Pilar apoiado na viga (P_2)
- 4 Viga bi-apoiada

No item (a) da Figura 4.4, tem-se parte da edificação com a viga (4) e as forças q_1 e P_2 na edificação. Na sequência, aparecem o recorte da viga (b) na edificação e a indicação da força P_2 . No item (c), tem-se a representação da viga e da força, com a simbologia utilizada na disciplina de Sistemas Estruturais, e, no item (d), a simbologia utilizada em Resistência dos Materiais e Mecânica das Estruturas.

Na Figura 4.5, tem-se a força Q_6 , que representa o peso da laje (q_3) suportada pela viga 6 mais seu peso próprio, que se apoia na viga em balanço 5.

¹³ Gardner (1993) atribuiu ao arquiteto a inteligência espacial, ou seja, a facilidade de visualizar objetos e edificações no espaço 3D e ao engenheiro a inteligência lógica matemática, que é a facilidade de representar os fenômenos físicos com as fórmulas matemática, embora ambos devam compartilhar essas duas inteligências.

Com isso, ficam representada as forças nas vigas bi-apoiadas (P2) e na viga em balanço (Q6).

Figura 4.5 – Força Q6 na viga em balanço 5.

Fonte: O autor.

No item (a) da Figura 4.5, tem-se a imagem da viga na edificação com a indicação dos elementos que irão gerar a força Q6. No item (b), tem-se o recorte da viga em 3D com a representação da força Q6 gerada pela viga 6. No item (c), tem-se a representação utilizada na disciplina de Sistemas Estruturais, e no item (d), a representação usual de Mecânica das Estruturas.

Na sequência, apresenta-se o mesmo esquema estrutural com destaque para a reação V.

Quem gera “V” ?

As reações (V), que são menos visíveis ainda, por estarem enterradas no solo, são geradas pela fundação da edificação que apoia os pilares. Essa força V é gerada pela reação do solo de acordo com as estacas, os tubulões, as sapatas etc. utilizados para executar a fundação da edificação, que se configuram como elementos estruturais implementados no solo, capazes de resistir às forças a eles

transmitidas pela estrutura (3ª Lei de Newton). Na disciplina de Mecânica dos Solos e Fundações, o aluno encontra a explicação de como essas forças V são geradas para cada tipo de solo. As ilustrações podem ser do pilar e das fundações que o apoiam de acordo com o tipo de solo e fundações utilizadas na região de estudo. Portanto, V é a reação de apoio gerada pela fundação que apoia o peso do pilar e do bloco no solo (vem da fundação).

Figura 4.6 - Mostrando parte inferior dos pilares e o bloco de fundação com as estacas.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.6, tem-se a identificação das reações verticais V que ocorrem tanto na viga bi-apoiada como na viga em balanço. No item (a) da figura, têm-se a identificação das vigas na elevação da edificação. Na sequência, têm-se as representações das vigas (b e b') nas quais são indicadas as reações, seguidas das representações de viga bi-apoiada (c) e viga em balanço (c') utilizada na Mecânica das Estruturas.

Na sequência, representa-se o mesmo esquema estrutural com destaque para o vão L .

Quem gera “L” ?

O vão (L), que é visível por se tratar da distância entre os apoios (V) ou a distância entre a força (P) e o apoio (V), é gerado pelo arquiteto que projeta a edificação ou o edifício alto. Nas disciplinas de Projeto Arquitetônico do primeiro ao quarto ano do curso, o aluno encontra os fundamentos conceituais que o levarão a definir os vãos de acordo com o programa de necessidades de cada projeto arquitetônico (Zani, 1998). O arquiteto, de acordo com o programa de necessidades e atribuições da edificação e a tecnologia construtiva disponível, irá estabelecer a quantidade e o posicionamento de pilares ou a altura do edifício. As pontes, viadutos, MASP, MUB, edifícios altos serão ilustrações bem vindas para caracterizar o fenômeno para os alunos.

Figura 4.7- A mesma edificação da Figura 4.3, agora com destaque para o vão livre, que corresponde ao braço externo de alavanca.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.7, tem-se a identificação do vão teórico, que é a distância entre os apoios (L_4) e a distância livre do balanço (L_6). No item (a) da figura, tem-se a identificação da viga na elevação da edificação. Na sequência, aparecem as representações nas quais indica-se nas vigas (b e b') o braço de alavanca (→←)

com os respectivos vãos L4 e L6, seguidos das representações de viga bi-apoiada (c) e viga em balanço (c') utilizadas na Mecânica das Estruturas.

Na sequência, apresenta-se o mesmo esquema estrutural com destaque para as forças internas H_t e H_c .

Quem gera “H” ?

As forças internas (H_t e H_c) voltam a ser invisíveis aos alunos por não oferecerem nenhum tipo de manifestação perceptível à visão, uma vez que as estruturas são estáticas. São geradas pela resistência dos materiais utilizados nas vigas, e a intensidade delas depende da solicitação que é provocada pela força (P). Na disciplina de Resistência dos Materiais, o aluno encontra os fundamentos conceituais que o levarão a entender como essas forças internas são geradas em cada tipo de seção e solicitação. Ilustrações podem ser obtidas em ensaio de laboratório, nas quais as deformações são amplificadas quando as peças entram em ruína. Fotos e vídeos podem ser utilizados para levar o aluno a perceber o fenômeno da geração dessas forças internas. Portanto, H_i são as forças internas geradas pela resistência do material estrutural da viga, resultantes das tensões de tração (H_t) e compressão (H_c) que vêm da Resistência dos Materiais (DIAS *et al.*, 2011);

Figura 4.8- A mesma edificação da Figura 4.3, com destaque para a seção da viga, mostrando o material estrutural que a constitui.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.8, tem-se a identificação das forças internas H . No item (a) da figura, tem-se a identificação da viga na elevação da edificação. Na sequência, estão as representações das linhas de tração e compressão nas vigas (b e b'), nas

quais indicam-se os vetores H_t e H_c , seguidos das representações de T e C na linha elástica nas viga bi-apoiada (c) e viga em balanço (c') utilizadas na Mecânica das Estruturas. Na sequência, apresenta-se o mesmo esquema estrutural com destaque para a distância h .

Quem gera “h”?

A distância “ h ” entre H_t e H_c só será “visível” a partir do momento em que o aluno identificar as referidas forças internas. Essa distância (braço interno de alavanca) é gerada pelo engenheiro ou pelo próprio arquiteto que irá projetar (dimensionar) a estrutura da edificação. Nas disciplinas de Estruturas de Concreto, Madeira e Metálica, o aluno encontrará os procedimentos que o levarão a dimensionar os elementos estruturais, ou seja, estabelecer o valor de “ h ”. Existem tabelas que orientam os valores máximos e mínimos de “ h ” a serem utilizados (BALLAST, 1988). Essas tabelas irão fornecer o que se pode chamar de altura útil “ h ” e tornam-se o elemento que irá acompanhar o arquiteto pelo resto da sua vida projetando edificações. Portanto, h é a distância entre H_t e H_c gerada pelo projetista estrutural ao dimensionar a viga e demais elementos estruturais, de acordo com os parâmetros de resistência e deformação exigidos pelas normas;

Figura 4.9 - A mesma edificação da Figura 4.3, agora com destaque para a altura útil da seção da viga: braço interno de alavanca.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.9, tem-se a identificação das linhas de tração T (cabos) e de compressão do C (arcos) nas vigas no item (a). Na sequência, tem-se as representações da altura útil h nas vigas (b e b'), nas quais indica-se o braço de

alavanca ( ) , que representa o braço interno de alavanca. O termo braço de alavanca também é utilizado para definir a distância entre R_{cc} e R_{st} no concreto armado.

4.2 A AÇÃO DOS PARÂMETROS

A segunda etapa é o aluno entender “como” (how) cada um dos PEF age no sistema estrutural.

Fazendo uma correlação com o “como” (*how*) da Fenomenografia, é necessário observar aqui de que forma o estudante experimenta o fenômeno estrutural envolvendo os 5 elementos. Se ele foca o todo ou só parte do fenômeno, de que forma ele estrutura o seu aprendizado a partir dos 5 elementos em cada sistema estrutural?

A alavanca através do “L” e do “h” (2 parâmetros geométricos) conecta os demais parâmetros físicos (P, V e H) que determinam como cada um dos PEF age e como eles se relacionam entre si. O aluno é desafiado a encontrar a alavanca dentro de cada sistema estrutural, que relaciona braços e forças externas e internas. A alavanca é a ferramenta com a qual o aluno poderá perceber o mecanismo dos sistemas estruturais, sendo a chave desse entendimento. Como exemplo, considere-se a mesma viga bi-apoiada com uma força P concentrada que age no centro do vão L provocando as forças internas horizontais de tração embaixo e de compressão em cima (H_t e H_c) distantes “h” uma da outra (braço de alavanca interno), equilibrando internamente o sistema. Essas forças H transmitem a força P para os apoios, que reagem com forças V separadas pelo vão L (braço de alavanca externo) equilibrando externamente o sistema. Ainda explicando o “como”, pode-se dizer que a ação do binário H_c - H_t age tencionando a viga para cima, reagindo à ação de P – V, que age empurrando o centro da viga para baixo, equilibrando-a pelo princípio de ação e reação (3ª Lei de Newton).

Figura 4.10 - Vigas: (a) linhas de tração e compressão, (b) alavancas na viga, (c) tração T e compressão C nas alavancas.

Fonte: O autor.

Na Figura 4.10, tem-se o esquema estrutural representativo, mostrando metade da força P , metade do vão, gerando a força de giro $P/2 \times L/2 = P.L/4$. Entender o mecanismo do sistema consiste em “encontrar a alavanca” interna e externa no sistema.

Figura 4.11 - Esquema estrutural representativo, mostrando metade da viga com as forças H_c e H_t .

Fonte: O autor.

A alavanca externa resulta da ação da força P e da reação sobre o vão (ou semivão), fazendo com que parte da estrutura tenda a girar no sentido horário. O mecanismo interno é gerado pelo braço de alavanca interno “ $H \times h$ ”, que faz essa parte da estrutura girar no sentido anti-horário, equilibrando o sistema.

Pelo princípio de ação e reação, as forças H_c e H_t da metade removida da viga agem na metade restante como um binário interno, equilibrando o sistema.

Figura 4.12 - Viga em balanço.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca dentro da viga (a) leva a um mecanismo (b) que indica como a viga equilibra a ação da força P , conforme indicado na Figura 4.12. Na viga em balanço, há uma inversão da alavanca em função de a tração e a compressão se alternarem em relação à viga bi-apoiada.

Em todos os mecanismos gerados está presente o princípio da alavanca (Arquimedes), ou seja, existem uma força ($\longrightarrow$) e um braço ($\longleftarrow$) externos e uma correspondente força e braço internos que se equilibram. Agora, será discutido como funcionam os mecanismos gerados pelos braços de alavanca externo e interno do sistema estrutural. O mecanismo externo é gerado pela força P e pelo vão ou balanço da estrutura. A ação da força P no braço, gerada pelo vão ou balanço da estrutura, gera um binário externo que solicita a estrutura em movimento de rotação.

Figura 4.13 – Cabo.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca no sistema (a) leva a um mecanismo (b) que indica como o cabo equilibra a ação da força P como resultante da força distribuída q que atua no cabo, conforme indicado na Figura 4.13. Deve-se observar que a alavanca

representa a forma como a estrutura do cabo se constitui num mecanismo de “alavanca” capaz de transferir a força P para os pontos de apoio da estrutura, onde ocorre V .

Figura 4.14 – Arco.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca no sistema (a) leva a um mecanismo (b) que indica como o arco equilibra a ação da força P , conforme indicado na Figura 4.14. Deve-se observar que a alavanca representa a forma como a estrutura do arco se constitui num mecanismo de “alavanca” capaz de transferir a força P para os pontos de apoio da estrutura, onde ocorre V .

Figura 4.15 – Trelça.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca no sistema (a) leva a um mecanismo (b) que indica como a treliça equilibra a ação da força P , conforme indicado na Figura 4.15. Da mesma forma, deve-se observar que a alavanca representa a forma como a estrutura da treliça se constitui num mecanismo de “alavanca” capaz de transferir a força P para os pontos de apoio da estrutura, onde ocorre V .

Figura 4.16 – Casca.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca dentro da casca (a) leva a um mecanismo (b) que indica como a casca equilibra a ação da força P , conforme indicado na Figura 4.16. Da mesma forma, deve-se observar que a alavanca representa a forma como a estrutura da casca se constitui num mecanismo de “alavanca” capaz de transferir a força P para os pontos de apoio da estrutura, onde ocorre V .

Figura 4.17 – Vertical.

Fonte: O autor.

Encontrar a alavanca dentro da torre (a) leva a um mecanismo (b) que indica como a torre equilibra a ação da força P , conforme indicado na Figura 4.17. Da mesma forma, deve-se observar que a alavanca representa a forma como a estrutura da torre se constitui num mecanismo de “alavanca” capaz de transferir a força P para os pontos de apoio da estrutura, onde ocorre V .

A conceituação de estrutura nas edificações se dá a partir de parâmetros físicos (P , H e V) e geométricos (L e h) conforme se pôde observar e conceituar. A identificação do mecanismo estrutural dos sistemas deve e pode ser feita a partir desses parâmetros físicos e geométricos.

4.3 A TRAÇÃO E A COMPRESSÃO NOS SISTEMAS

Como ocorrem a tração e a compressão em cada sistema estrutural?

Todos os sistemas trabalham com tração e compressão como se verá a seguir, nos quais se identificam o cabo e o arco. Serão novamente indicados os 5 elementos, sendo que o H_c representa a força de compressão gerada no arco e o H_t a força de tração gerada no cabo.

Figura 4.18 – Tração e compressão (cabo e arco).

Fonte: O autor.

O ponto de partida de todos os sistemas é o cabo (talvez o 1º e mais antigo dos sistemas – uma ponte de cipó atravessando um vale profundo) e, em seguida, o arco inicialmente feito de pedras resistindo só à compressão tendo como eixo a linha do antifunicular do carregamento, que é definido pelo cabo (Gaudi). Como se verá, o cabo e o arco estão presentes em todos os sistemas estruturais.

Figura 4.19 - Imagens com cabos, arcos, treliças, seção ativa, casca e verticais.

(a) Estádio

(b) Banco

Fonte: O autor.

Nessas obras, pode-se encontrar a aplicação de todos os sistemas aqui estudados, o que é fundamental para o estudante fazer a conexão da teoria com a prática.

Figura 4.20 – Cabos e arcos na treliça.

Fonte: O autor.

Identificando o cabo e o arco na treliça da Figura 4.20, observa-se que a compressão está relacionada com a parte superior do sistema, que tende a sofrer um encurtamento, e que a tração está relacionada aos cabos inferiores, que tendem a sofrer um alongamento provocado pela força P .

Figura 4.21 – Cúpula.

Fonte: O autor.

Identificando o cabo e o arco no sistema representado pela Figura 4.21, observa-se que a compressão está relacionada com o peso da cúpula, que representa o arco, e que a tração está relacionada ao cabo que faz o cintamento do sistema.

Figura 4.22 – Torre estaiada.

Fonte: O autor.

Identificando o cabo e o arco no sistema representado pela Figura 4.22, observa-se que a compressão está relacionada com o peso da torre, que representa o arco, e que a tração está relacionada ao cabo, que faz o atirantamento do sistema estaiado.

Entender o mecanismo do sistema estrutural consiste em “encontrar a alavanca”, interna e externa. Conforme foi observado, a alavanca externa resulta da ação da força P e da reação V sobre o vão L , fazendo com que parte da estrutura tenda a girar no sentido horário. Por outro lado, a alavanca interna é acionada pelas forças H_c e H_t sobre o braço “ h ”, que tende a girar no sentido anti-horário.

Dessa forma, fundamenta-se a razão de ser e o entendimento dos PEF na explicação do mecanismo de cada sistema estrutural. Portanto, entender o mecanismo estrutural significa entender como cada um dos PEF é gerado e o que representam o quê (*what*) e como (*how*) são as relações entre eles.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

A análise dos dados é realizada considerando as três dimensões (SC, E e M) dos Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais (CFSE) que utilizam os cinco Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF) em cada Sistema Estrutural. Essas três dimensões (SC, E e M) foram selecionadas e extraídas (identificadas) do núcleo teórico do instrumento de avaliação TRA (Tabela de Resultado do Aprendizado) apresentado no capítulo três. Considera-se que o processo de identificação e vinculação dos cinco parâmetros estruturais fundamentais tem uma influência direta na aprendizagem dos conceitos estruturais (Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais). A percepção e a correlação dos cinco elementos estruturais pelo aluno devem atender à compreensão desses novos conceitos.

O processo envolveu a realização de uma investigação sobre a natureza da percepção do aluno a respeito da composição estrutural, com apoio na Fenomenografia (PROSSER *et al.*, 2000), incluindo a percepção do “equilíbrio” e do “mecanismo” dos sistemas. Os cinco elementos estruturais, que se constituem de parâmetros físicos e geométricos, são representados graficamente por dois tipos de símbolos (físico – vetor força e geométrico – braço de alavanca) que possibilitam ao aluno indicar a sua interpretação e compreensão sobre os sistemas estruturais. A avaliação de como o aluno percebe o fenômeno estrutural foi estabelecida e expressa em termos de “adequação” da compreensão do fenômeno em três níveis: alta, média e baixa adequação.

“Alta adequação” ocorre quando o aluno destaca os principais aspectos do sistema estrutural, empregando procedimentos científicos por meio de texto escrito e de representação gráfica de modelos teóricos do sistema com vetores de força e distância; portanto, se as ideias do aluno envolvem, conscientemente, um maior número de conceitos científicos sobre o sistema estrutural observado, tem-se, então, uma abordagem de “alta adequação”. No contexto da taxonomia, alta adequação corresponde à categorização relacional, no qual o aluno é capaz de comparar, contrastar, explicar, analisar e relacionar os fenômenos. Assim, o conceito de alta adequação é um meio de determinar como o aluno é capaz de compreender o sistema estrutural, cientificamente.

Light e Cox (2001, p.90,) consideram que "alta adequação" corresponde a uma categorização relacional, em que o aluno é capaz de explorar o fenômeno. No caso deste estudo, os participantes correlacionam os parâmetros dos sistemas estruturais de uma forma científica. É também uma "abordagem profunda", nas palavras de Prosser (1994, p.192), que acrescenta o seguinte: "Ao utilizar uma abordagem profunda, a intenção do aluno é entender o material que está sendo estudado em termos de apropriação de significado pessoal diante da tarefa de aprendizagem em questão". É também similar ao que Prosser *et al.* (2000) mencionam como "categoria D".

"Média adequação" ocorre quando as ideias do aluno sobre os fenômenos estruturais podem ser divididas em termos de conceitos científicos e não científicos. Esse nível de adequação corresponde à categorização multiestrutural, na qual o aluno pode enumerar, descrever, listar e representar o fenômeno associado com os parâmetros estruturais de forma que possa ser científico ou não científico. Assim, nesse nível, o aluno pode não possuir um repertório científico mais amplo, pode perceber ou expressar os aspectos relevantes, mas o faz de uma forma insuficiente. Prosser (1994) tem usado, nesse caso, duas categorias - "provavelmente profunda" e "provavelmente superficial" - para esse nível. É também similar ao termo de Prosser *et al.* (2000) mencionado como "categoria C".

"Baixa adequação" ocorre quando as ideias do aluno são mal conectadas com o fenômeno que está sendo focado, independentemente de os conceitos serem científicos ou não. Ao mesmo tempo, essa ainda é uma área de onde é possível extrair elementos pertinentes para ajudar no processo pedagógico. Baixa adequação corresponde à categorização não estrutural em que o aluno, ao desenvolver procedimentos simples sobre o sistema estrutural em foco, na sua maioria, o faz de forma não científica. De acordo com Prosser (1994, p.192): "Ao adotar uma abordagem superficial, a intenção do aluno é reproduzir o material que está sendo estudado, muitas vezes através de aprendizagem por memorização." É também semelhante aos termos de Prosser *et al.* (2000) mencionados como "categorias A e B".

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, quatro seções serão abordadas: o resultado de pesquisa de uma análise fenomenográfica; um relato da percepção dos fenômenos e categorias; as questões de validade e confiabilidade dos resultados envolvidos nesta análise e as considerações da análise.

Ao fazer a análise da aprendizagem fenomenográfica, os pesquisadores tendem a adotar uma série de abordagens sutilmente diferentes, que foram comparadas em estudos realizados por Reed (2006), Akerlind (2003) e Case (2000). Essas abordagens são baseadas na noção de intencionalidade, que, no campo da Fenomenografia, aborda a questão da distinção em termos de “o quê” e “como” o aluno pode manifestar estar consciente na percepção dos fenômenos (ULJENS, 1996, p.108).

Ao estabelecer uma hierarquia, Prosser (1994) examinou os fenômenos físicos através da coleta de dados com base em perguntas semiestruturadas e abertas. Neste estudo, o conceito de adequação foi empregado para analisar os parâmetros dos resultados de aprendizagem, que levam em conta conceitos-chave identificados nos dados analisados, parametrizados pelos Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais (CFSE), que foram fundamentais para a obtenção de um entendimento dos fenômenos representados nos questionários utilizados.

A análise dos dados será, portanto, realizada considerando as três dimensões (SC, E e M) dos Conceitos Fundamentais de Sistemas Estruturais (CFSE) que utilizam os cinco Parâmetros Estruturais Fundamentais (PEF) em cada Sistema Estrutural, ou seja, os “Cinco Elementos”: P, V, H (físicos) e L, h (geométricos). A partir desses parâmetros, a análise será desenvolvida tendo como meta mapear os graus de percepção do aluno que, de acordo com a Fenomenografia, pode ser entendida da seguinte forma:

- a) Como: holística (foco no todo) ou atomística (foco nas partes) – *aspecto estrutural*,
- b) O que: profunda (foco no significado) ou superficial (foco na reprodução) – *aspecto referencia*.

De acordo com Prosser e Millar (1989), aqui se estabelecem três níveis de adequação para interpretar e categorizar os dados, conforme já descrito na metodologia e ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Aspectos estruturais e referenciais da aprendizagem.

Fonte: Prosser (1994, p. 203.)

No diagrama da Figura 5.1, encontram-se a estrutura e o significado do que é aprendido pela ótica da Fenomenografia.

5.1.1 Resultados Iniciais

Foram examinados os resultados da coleta de dados de 2011, empregando-se uma análise inicialmente conduzida para examinar as seções centrais dos questionários à procura de evidências de fenômenos relacionados aos sistemas estruturais, investigados através dos parâmetros estruturais fundamentais (PEF). Por precaução, na análise, a resposta dada à questão central (PEF), ou aquelas relativas a fenômenos correlatos, só foi dada após terem sido examinadas todas as partes complementares de cada instrumento, à medida que um determinado ponto era examinado. Alguns comentários entre as respostas pareciam ser mais carregados de sentido do que outros, e o aluno, muitas vezes, destacava a importância das demonstrações em suas respostas, como se verá a seguir. Apesar

disso, as partes designadas de uma resposta particular foram sempre lidas como um todo, de modo que essas partes destacadas nunca foram lidas fora do contexto ou voltadas para a exclusão de outras partes. Com base nesse pressuposto, a forma estrutural da compreensão de um fenômeno específico não pode variar. Esta análise procura ser tão extensa quanto possível para abranger todos os tipos de compreensão que o aluno possa ter.

Uma distinção deve ser feita entre a interpretação do pesquisador sobre os dados e a descrição que faz sobre essa interpretação ao escrever os resultados da investigação. Há muitas decisões que devem ser tomadas ao longo da análise sobre a melhor forma de descrever os dados e suas interpretações. A intenção aqui foi dar uma descrição que refletisse, com precisão, a interpretação, apresentando os dados da forma mais compreensível possível para o leitor, a fim de esclarecer as interpretações que foram feitas pelos alunos. Os resultados da análise fenomenográfica podem ser encontrados nas descrições de aspectos-chave relativos à experiência do fenômeno, que representam uma gama de formas qualitativamente diferentes de como investigar o sistema estrutural. Isso significa que as categorias de descrição, ou seja, as categorias analisadas, representam uma gama de resultados significativos que compõem a categorização. Além disso, existem padrões comuns de variação que ultrapassam as categorias de descrição e mostram o grau de semelhança e diferença entre as categorias (e, portanto, entre os diferentes modos de experienciar o fenômeno) e que permitem que as relações entre as categorias sejam formadas. Essas relações indicam a estrutura da classificação, na medida em que representam o acesso aos níveis de adequação alta, média e baixa das categorias estabelecidas neste estudo.

A Figura 5.2 mostra a cronologia dos questionários utilizados para a coleta de dados durante as 18 semanas da disciplina no período letivo em que era ministrada, seguindo o sistema estrutural da equipe: sistema de seção ativa (vigas, grelhas e pórticos).

Tabela 5.2- Instrumentos para análise - Exemplo: alunos da equipe seção ativa

Semana	2 ^a	5 ^a	7 ^a	9 ^a	11 ^a	13 ^a	3 ^a	6 ^a	8 ^a	10 ^a	12 ^a	18 ^a
Sistema	Instrumentos											
Estrutural	TRA	TED	TED	TED	TED	TED	TPS	TPS	TPS	TPS	TPS	TRA
	1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	2
Arco/cabo												X
Treliça												X
Viga/grelha	X	X							X			X
Casca												X
Vertical												X

Fonte: O autor.

O aluno GP investigou o sistema de seção ativa (vigas, grelhas e pórticos) a partir dos seus conhecimentos preliminares e da utilização de, pelo menos, três livros técnicos recomendados para a tarefa de leitura e preenchimento da tabela do TED. Observou-se que ele foi organizado e objetivo na forma como demonstrou o equilíbrio de forças. Apesar de algumas inadequações, revelou uma percepção muito boa do sistema. Quando escreveu que "as forças produzem deflexão na viga gerando tração e compressão na secção transversal, o que produz equilíbrio", deu uma resposta semelhante à encontrada na definição de Engel (1981) de que "forças laterais que atuam sobre a viga causam a deflexão da mesma". E o aluno completa dizendo: "A viga é fletida assumindo a forma curva, quer para baixo ou para cima".

O participante forneceu evidências de que tinha experimentado dificuldades com o sistema seção-ativa, embora parecesse ter interpretado a definição das vigas com precisão de acordo com os manuais técnicos de estruturas. Ele também demonstrou que tinha uma boa compreensão da concepção principal dentro dos parâmetros recomendados pela literatura. No entanto, possivelmente estava reproduzindo o que os livros didáticos apresentam e não o que ele tinha propriamente conceituado como resultado de sua percepção do sistema estrutural. Configura-se, nesse caso, o que aqui se designa como uma interpretação típica do nível de "média adequação" do mecanismo de viga: "a viga reorienta as forças a partir da vertical para a posição horizontal, e as transmite através da sua extensão para os suportes (apoios), que reagem com as forças opostas". O diagrama da Figura 5.3 fornece a ilustração.

Figura 5.3 - TED - Interpretação do aluno GP

<p>Scanning¹⁴:</p> <p>Descreva de forma resumida os principais conceitos:</p> <p>AS VIGAS SÃO ELEMENTOS ESTRUTURAIS RETOS, RESISTENTES À FLEXÃO E CAPAZES DE SUPOARTAR FORÇAS PERPENDICULARES AO SEU EIXO E TRANSMITÍ-LAS LATERALMENTE AO LONGO DO MESMO ATÉ SEUS EXTREMOS.</p> <p>AS VIGAS APOIADAS NOS EXTREMOS DESENVOLVEM TRAÇÃO NAS FIBRAS INFERIORES E COMPRESSÃO NAS SUPERIORES.</p> <p>QUANDO UMA VIGA APOIADA EM SEUS EXTREMOS É SOLICITADA POR CARGAS TRANSVERSAIS AO SEU EIXO, ELA SE DEFORMA, AS SEÇÕES TRANSVERSAIS GIRAM EM TORNO DE SEU EIXO E TENDEM A ESCORREGAR UMA EM RELAÇÃO À OUTRA. O EIXO DA VIGA DEFORMA-SE VERTICALMENTE. AOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS DO EIXO DÁ-SE O NOME DE FLECHA.</p>	<p>Elabore um mapa conceitual (diagrama) sintetizando os principais conceitos e definições do sistema em estudo;</p>
<p>Nesse item do TED, o aluno deve descrever, de forma resumida, os principais conceitos do sistema, de acordo com autores que consultou.</p> <p>No caso, ele conseguiu abranger os principais conceitos que definem o sistema de vigas, grelhas e pórticos – sistema de seção ativa.</p>	<p>Nesse mapa conceitual, o aluno conseguiu sintetizar em palavras-chave os principais conceitos.</p>
<p>Scanning:</p> <p>Dê sua própria definição/conceito sobre o assunto:</p> <p>UMA VIGA É UMA BARRA HORIZONTAL APOIADA EM SEUS EXTREMOS QUE RESISTE À FLEXÃO.</p> <p>QUANDO UMA CARGA É APLICADA, A VIGA TRANSMITE ESSA CARGA ATÉ SEUS EXTREMOS, DEFORMANDO-SE VERTICALMENTE. DEVIDO À ESSA DEFORMAÇÃO, A VIGA APRESENTA TRAÇÃO NA PARTE INFERIOR E COMPRESSÃO NA PARTE SUPERIOR</p>	<p>Desenhe de forma esquemática em corte ou perspectiva uma obra que contenha os sistemas em foco:</p>
<p>Nesse item, o aluno deve dar sua própria definição sobre o sistema, o que o autor desta resposta fez de forma bastante adequada, evidenciando aspectos importantes do sistema:</p> <p>barra horizontal com flexão - deformação associada a tração e compressão.</p>	<p>O aluno desenhou o MASP, que é um ícone do sistema de seção ativa, com vigas protendidas de grande vão.</p>

Fonte: Aluno GP

¹⁴ Termo mantido em inglês – há apenas uma equivalência derivativa com o termo aportuguesado “escanear”.

As menções do aluno prosseguem: "A viga transmite a força vertical aos extremos (apoios) e sofre uma deflexão que produz tração na parte inferior e compressão na parte superior da seção transversal". Em relação às treliças, disse: "As treliças são formadas de barras submetidas a tração e compressão. Estas barras são dispostas numa configuração triangular, onde as forças devem ser aplicadas nos nós, para evitar qualquer dobra (flexão) das barras"; "Nas treliças, há compressão em algumas barras e tração em outras, de forma a alcançar o equilíbrio"; "O sistema vertical "empresta" os mecanismos tirados de outros sistemas, tais como cabos, arcos e treliças, para transmitir as forças dos níveis superiores para as fundações ".

Ao estudar os sistemas, o aluno pôde se inspirar na literatura técnica para entender os principais conceitos e compreender o fenômeno envolvido no mecanismo estrutural. Isso pode ser feito de um modo que lhe permita integrar as perspectivas da física e da geometria utilizando os instrumentos desenvolvidos nesse estudo. Na versão completa do instrumento TED, o aluno GP realça a importância da tração e compressão na secção transversal da viga.

Figura 5.4 - TPS - Interpretação do aluno GP sobre CE, E e M.

CE Scanning: Comportamento Estrutural – indicar que tipo de carga pode atuar no sistema. CARGA CONCENTRADA CARGA DISTRIBUÍDA	
Desenhar:
Forças concentrada e distribuída	Representação gráfica das forças
M Scanning: Desenhar parte da estrutura indicando como ocorre o equilíbrio externo:
Explicar como ocorre este equilíbrio externo: A CARGA FAZ UMA FORÇA PARA BAIXO (NORMALMENTE) E O PILAR FAZ UMA FORÇA PARA CIMA PARA RESISTIR	
A carga e a reação se equilibrando	A percepção da ação da carga e reação do apoio
E Scanning: Desenhar parte da estrutura indicando como ocorre o equilíbrio interno:
Explicar como ocorre este equilíbrio interno: A VIGA FLEXIONA, SURGE TRAÇÃO NA PARTE INFERIOR E COMPRESSÃO NA SUPERIOR. <i>compressão</i>	
Indicou os vetores de força agindo dentro da viga; não indicou os braços h e L	Relacionou a flexão com a tração e a compressão

Fonte: O autor.

Nas outras partes do instrumento TPS, no contexto do sistema de seção ativa, as respostas parecem ser bem organizadas, mas com uma tendência a ser simplesmente reprodutivas. Há sinais de muitas aplicações bem empregadas, mas demonstra pouco entendimento ou capacidade de ver algo de uma forma própria, conforme a classificação do contexto fenomenográfico. Observou-se que todos os membros da equipe se concentraram nos mesmos elementos para demonstrar suas ideias nas dimensões CE, E e M.

O aluno GP esboçou e escreveu sobre os cinco parâmetros PEF (P, V, H, L e h) no instrumento TRA2 e demonstrou compreender, de forma adequada, o equilíbrio de forças internas e externas, mas não o de momento. Ele mostrou uma boa interpretação, no início do curso, quando esboçou um único quadro (uma viga com duas colunas) com força P, tração e compressão na viga, e a ação das forças

nas colunas. Como muitos outros alunos, ele representou as reações de uma maneira oposta - como uma ação sobre os apoios. Isso pode significar que o aluno estava envolvido no processo de transmitir as forças através do sistema estrutural, tanto quanto os suportes. "A força P atua para baixo e para cima da coluna reagindo com o apoio." Ele, provavelmente, quis dizer que o equilíbrio se dá através da ação e reação das forças (3ª lei de Newton).

Quando os dados obtidos a partir do sistema de seção-ativa foram analisados, verificou-se que existia tanto uma explicação física como geométrica dos fenômenos. Como explorar a percepção do aluno sobre os fenômenos estruturais decorrentes desse sistema? A resposta é que a percepção foi explorada através do TRA, e a equipe demonstrou da seguinte forma:

- a. Ligando as vigas com as colunas – formando pórticos
- b. As vigas recebem as forças ortogonais e as transmitem na direção do seu eixo - cada elemento pode suportar as forças que são perpendiculares ao seu eixo;
- c. A força P, agindo sobre esse sistema, faz com que flexione, corte, tracione e comprima e, por vezes, haja torção.
- d. As vigas fletem por causa das forças, e isto dá origem a tração e compressão na seção transversal;
- e. A altura da viga é proporcional ao seu comprimento.

O aluno em questão identificou forças numa viga biapoiada, em que "há compressão na parte superior da viga e tração na parte inferior". O aluno GP descreveu como uma viga de concreto armado resiste à compressão através do concreto e à tração por meio de barras de aço da seção transversal. A percepção desse fenômeno é importante para entender a composição estrutural (CE).

Figura 5.5 - TRA - Interpretação do aluno GP sobre CE, E e M.

Composição Estrutural	<p>Scanning:</p> <p>O SISTEMA É COMPOSTO POR UMA VIGA, GERALMENTE APOIADA EM PILARES, SUBMETIDA A CARGAS QUE OCASIONAM A FLEXÃO, SURTINDO ESFORÇOS DE COMPRESSÃO, TRAÇÃO E CISCALHAMENTO (TORÇÃO EM ALGUNS CASOS). A VIGA REDIRECIONA AS FORÇAS E AS TRANSMITE ATRAVÉS DE SEU VÃO ATÉ OS APOIOS, QUE REAGEM COM UMA FORÇA NO SENTIDO OPOSTO.</p>	
CE	<p>Descrição bastante completa do sistema</p>	
Mecanismo	<p>Scanning:</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-left: 10px;"> <p>UMA CARGA É APLICADA E TRANSMITIDA AO LONGO DE SEU EIXO ATÉ OS APOIOS, QUE EXERCEM UMA FORÇA NO SENTIDO CONTRÁRIO, EQUILIBRANDO O SISTEMA</p> </div> </div>	
M	Só faltou indicar H_c e H_t dentro da viga	Descreve o equilíbrio entre carga e reações
Equilíbrio	<p>Scanning:</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-left: 10px;"> <p>DEVIDO À CARGA A VIGA FLETE E SURGE TRAÇÃO E COMPRESSÃO, QUE SE EQUILIBRAM.</p> </div> </div>	
E	Indica todos os 5 elementos	Parece perceber o mecanismo que gera o equilíbrio.

Fonte: O autor.

Ficou demonstrado que ele tinha um conhecimento razoável das forças externas e internas de equilíbrio: "A força é transportada da superfície da casca para os apoios, que reagem com as forças verticais e horizontais para atingir o equilíbrio do sistema"; "Há forças de compressão no interior da casca cilíndrica (que funciona como um arco) e isto provoca uma reação horizontal, na parte inferior, enquanto que a força vertical é equilibrada por uma reação vertical".

A importância de realizar uma categorização logicamente estruturada em pesquisa fenomenográfica já foi enfatizada nos capítulos anteriores. No entanto, na prática, pesquisadores que utilizam a Fenomenografia variam quanto ao grau que colocam em evidência entre o empírico e o lógico quando se forma a estrutura de uma classificação, ou seja, as abordagens para categorias adotadas neste estudo - envolvendo níveis de adequação. Em um extremo, prioridade é dada para a produção de uma categorização logicamente estruturada, que é baseada nos pressupostos epistemológicos da abordagem da pesquisa e nas limitações inevitáveis do valor de todos os dados coletados. No outro extremo, a categorização é melhor constituída com prioridade na evidência empírica fundamentada nos dados de resposta, uma vez que tanto a natureza empírica da abordagem de pesquisa quanto os dados de resposta são os pontos focais que os pesquisadores têm trabalhado por mais tempo.

5.1.2 Um Esquema De Análise

Em 2014, no final do semestre, uma aluna, ao ser questionada em como fica o diálogo dos cinco elementos com a alavanca, respondeu: “A alavanca é um modo mais visual de representar o equilíbrio dos esforços físicos e geométricos em um sistema estrutural. Se a gente transferir os esforços do sistema estrutural na alavanca, podemos notar que sempre um esforço anula o outro. Por exemplo: a força-peso (P) é anulada pelas reações de apoio (V). O esforço interno de compressão (H_c) é anulado pelo esforço interno de tração (H_t).” Há indícios de que ela entendeu o funcionamento dos PEF no sistema estrutural que analisou. (Aluna AD, 2014).

Este estudo pretendeu explorar a forma pela qual os alunos(as) percebiam o fenômeno de sistemas estruturais, com o auxílio das categorias definidas, considerando principalmente os dados de 2012 a 2014. As inter-relações entre os fenômenos e as categorias ocorrem dentro do contexto de fundo filosófico na Fenomenografia.

De uma perspectiva fenomenográfica, a experiência de um fenômeno que é focal na consciência é visto como envolvendo a experiência simultânea de fenômenos relacionados, de acordo com a estrutura de relevância percebida dos fenômenos relacionados. Dada esta suposição, de que esses fenômenos estão internamente

relacionados, analiticamente, podemos esperar relações lógicas a surgir entre modos de experienciar fenômenos relacionados. (AKERLIND, 2003).

Esperava-se que um número de relações lógicas surgisse entre as formas pelas quais os sistemas estruturais foram observados e as categorias dimensionais que se correlacionaram aos mesmos fenômenos. Além disso, a relação foi estabelecida entre os parâmetros estruturais fundamentais (PEF) (Figura 5.6) das categorias e as categorias dimensionais (CFSE), que integraram os fenômenos lógicos e científicos. A compreensão dos fenômenos de sistemas estruturais está sendo obtida, neste estudo, ao se investigar essas inter-relações, e isso continuará sendo estudado nas análises deste capítulo. Há uma necessidade e perspectiva real de levar a cabo esse tipo de investigação como um instrumento do processo de pesquisa em si, e assim explorar a ligação entre fenômenos e categorias. O experimento deve ser coerente e dividido em componentes para fins analíticos. Desse modo, a separação entre a experiência em fenômenos diferentes, mas relacionados, é uma categoria analítica necessária por causa das limitações inerentes da capacidade humana para lidar com os sistemas estruturais. A maneira de investigar o tipo de inter-relações que são mais consistentes com uma epistemologia fenomenográfica seria reunir dados que mostrem como os indivíduos experimentam a relação entre os diferentes fenômenos.

Figura 5.6 -Os 5 PEF em uma viga - gerado no *software* Cabri-Géomètre

Fonte: UEL (2007)

O tipo de investigação realizado aqui pode ser encontrado na literatura de pesquisa fenomenográfica (TRIGWELL; PROSSER, 1996): uma abordagem envolvendo a investigação das relações lógicas entre fenômenos relacionados, investigando sobreposições nos aspectos do “o quê” e “como” (ou os aspectos

referencial e intencional), de ambos os fenômenos. Outra abordagem é investigar as relações empiricamente, através da realização de uma análise qualitativa das diferentes categorias de modos de experienciar os dois fenômenos que podem ser encontrados nos dados do questionário. Foi tomada, no entanto, a decisão de fazer uma variação para a abordagem empírica adotada nos estudos citados. Isso implicou na realização de investigações empíricas das inter-relações entre os fenômenos relacionados sobre sistemas estruturais e as abordagens para as diferentes categorias necessárias para definir as formas de experienciar os fenômenos. Essa abordagem, entretanto, é uma mudança considerável no método fenomenográfico e se concentra em verificar a frequência das categorias esperadas dos modos de experienciar. Nesta tese, investigam-se todas as categorias em questão, com modos de experienciar que foram encontrados nas respostas dos questionários. Com base no pressuposto de que há relações internas entre esses modos de experienciar, cada categoria que se encontra (e não apenas as categorias mais comumente encontradas) deve ter algo a dizer.

CE Dimensão em Alta Adequação - descreve a forma como todo o sistema pode ser interpretado quando, por exemplo, o aluno faz as seguintes declarações: "A força P produz reações V e a alavanca L produz um momento externo que tende a desequilibrar a viga." De um ponto de vista amplo (holístico), isso implica que o aluno coordena a ideia de forças (P e V) com o braço de alavanca (L) e tem um entendimento completo do mecanismo do sistema. Nesse nível de adequação, pode-se perceber que o aluno indica (i) quase todos os cinco elementos (PEF) e faz quase todas as relações (r) entre eles.

Quando o aluno declara: "A força que atua sobre a extensão do vão gerou um momento externo que tem de ser equilibrado por um momento interno produzido pela tensão e compressão dentro da viga", de uma perspectiva focada no significado (profunda), a ideia principal é que o mecanismo é governado por momentos externo e interno. Isso é ainda ilustrado pelo seguinte recorte relativo a uma situação em que alguns dos elementos constitutivos da casca que pertence aos sistemas de superfície ativa foram descritos: "As forças são aplicadas em toda a superfície e há uma reação contínua sobre a base. As forças internas de tensão e compressão ocorrem na extensão da casca"; "Nesse sistema, o braço de alavanca interno é determinado pela curvatura da casca". Ao considerar uma interpretação mais

significante (profunda) sobre a casca, o aluno GP demonstrou que tinha uma boa compreensão da geometria e dos parâmetros estruturais h que governam o braço de alavanca interno, isto é, a forma como o braço de alavanca é determinado. Nessa categoria, as principais dimensões do sistema estrutural referentes aos CFSE foram identificadas e descritas pelo aluno.

Figura 5.7- ATEDCE1 - Aluno CM

Fonte: Aluno CM

O aluno CM sintetizou os principais conceitos do sistema de forma ativa (cabos, arcos e membranas) através da leitura dos autores utilizando o TED, conforme se observa na Figura 5.7. Dessa forma os estudantes dão um passo importante na experiência dos sistemas estruturais e de suas características, cobrindo aspectos mais gerais antes de aprofundar abordagens sobre concepções estruturais (CE), equilíbrio (E) e mecanismo (M) dos sistemas.

Na categoria de alta adequação, o sistema estrutural é descrito como sendo para o aluno uma coisa física e tátil. Caracteriza-se como envolvendo os PEF que

têm características e qualidades particulares. Exemplos desses PEF podem ser observados através dos dados coletados pelos instrumentos TPS e TRA. O fato de que há um foco sobre as qualidades de um PEF como constituindo sistema estrutural é evidente no que se apresenta a seguir. Aqui um PEF é concebido como constituindo parte de um sistema estrutural, porque há muitos parâmetros envolvidos. Essa ideia de um sistema estrutural ser considerado como uma composição de PEF é delineada pelo fato de que um sistema é a soma das suas partes constituintes. Por exemplo:

Figura 5.8- 2SEM1 - Cobertura do Ginásio de Rolândia

As estruturas não flexíveis são os cabos de aço, enquanto as extremidades

P = peso

Hc = compressão

Ht = tração

Fonte: Alunos

O aluno identifica na estrutural real, representada pela Figura 5.8, os elementos de forças (P, Hc e Ht) no momento em que fazem a visita à obra na preparação do seminário que irão apresentar no final do semestre. Em seguida constroem o modelo da alavanca com os cinco elementos (menos Hc), indicando o sentido de rotação conforme Figura 5.9.

Figura 5.9- 2SEM1a – Alavanca na casca do Ginásio de Rolândia.

Fonte: Aluno AD

No sistema de altura ativa, da outra equipe, tem-se, na Figura 5.10, o raciocínio que eles utilizaram para conceber o sistema do protótipo.

Figura 5.10- 2SEM5 - Sistema vertical

Fonte: Alunos

Em seguida, a equipe apresenta a alavanca no sistema vertical do protótipo com os cinco elementos, o que indica uma percepção de alta adequação na interpretação dos PEF agindo no sistema.

Figura 5.11- 2SEM5a – Alavanca no sistema vertical

Fonte: Alunos

No caso seguinte, o aluno desenvolveu um esboço do mecanismo através do movimento de vetores M do momento. No contexto estrutural, esse aluno deu uma explicação na dimensão CE, a qual, na sua versão completa, é a seguinte: "A força P produz reações V que, através do braço L de alavanca, produz um momento externo que tende a desequilibrar a viga."

Figura 5.12- Concepção do aluno MS sobre os parâmetros PEF – indicando os momentos externos e internos

Fonte: Aluno MS

Segundo o aluno, "No interior da viga existem reações horizontais H e a alavanca interna h , que gerou um momento interno para equilibrar a viga. H é definida pela seção da viga e a sua força é limitada pela resistência do material." Isso é confirmado pelo desenho que segue (Figura 5.12), que representa uma metade da viga com todos os cinco parâmetros PEF envolvidos nos sistemas estruturais.

Tudo indica que o aluno MS entendeu a dinâmica desse mecanismo estrutural que consiste no movimento da força P contra as reações V que têm de ser equilibradas pelo binário interno $H \times h$. Essa visualização (percepção do sistema) foi uma interpretação completa (holística) do sistema estrutural e demonstrou como o aluno percebeu o fenômeno: "A força P e vão L situam-se entre os suportes, h é a altura da seção e há reações horizontais de tração e compressão H ."

A compreensão do aluno parece ser (pelo menos, soa como se) mais completa e convincente em termos de *recursos referenciais* porque se concentrou em todos os parâmetros PEF classificados na física, "P força suportada pelas reações V e forças horizontais reações H_c e H_t " e na geometria "vão L e altura h ". Em termos de *recursos estruturais*, uma explicação que pode ser dada é a que sugere que há uma correlação entre alguns parâmetros PEF: "Há correlações entre

eles. A força que atua sobre o vão gera um momento externo que tem de ser compensado por um momento interno produzido pela tração e compressão no interior da viga. "

Figura 5.13- ATRACE4 – Aluno AD superfície ativa - cascas

Descrever:
 A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO É VENCIDA POR ARCOS (SENTIDO MERIDIONAL).
 A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PODE SER VENCIDA POR CABOS, TIRANTES OU ANEIS.

Fonte: Aluno AD

O aluno AD demonstrou de forma holística (*como* - o arco e o cabo presentes nas cascas), através do relato da Figura 5.13, o funcionamento da casca de forma significativa (*o quê*), indicando uma percepção bastante abrangente do fenômeno estrutural em análise.

Deve-se atentar para a forma como o aluno apreende os conceitos dos sistemas estruturais e como o fenômeno se manifesta para cada aluno, o que permitirá determinar a essência da análise fenomenográfica. Isso implica descobrir “o quê” e “como” o aluno aprende nesse campo. Tudo que envolve o caminho da percepção do aluno é contextualizado e tem especial valor para o pesquisador aprender como o aluno compreende o fenômeno. Aqui se apresentam as classes de respostas (como concebidas a partir de modelos de Prosser): 1) respostas com base na capacidade inata ou empenho no trabalho de aprendizado; 2) respostas baseadas na busca da compreensão ou relativas a outros assuntos e/ou experiência anterior, 3) respostas com base nas experiências do mundo real, ou na construção de modelos sobre o mundo real; 4) respostas baseadas em interesse no assunto. Essa integração deve ser preenchida com as ações realizadas pelo aluno participante: a) foco não conceitual; b) descreve parte de todo o sistema; c) descreve o sistema todo em partes; d) descreve o sistema como um todo. Para determinar as respostas para as perguntas neste estudo, os níveis de adequação são: baixa adequação (superficial); média adequação (provavelmente superficial ou profundo); alta adequação (profundo).

- Um aluno que conseguiu uma adequação elevada (equivalente à abordagem profunda de Prosser) era capaz de extrair o significado pessoal do material, como é mapeado na Figura 5.12 e seguido pela declaração: "A força P produz reações V e L braço de alavanca que produz um momento externo que tende a desequilibrar a viga. No interior da viga existem reações horizontais representadas por H_c e H_t que, agindo na alavanca interna h , geraram um momento interno para equilibrar a viga. H é definida pela seção de viga e a sua força é limitada pela resistência do material." Todos os parâmetros foram correlacionados nessa interpretação pessoal por parte do aluno, dando significado às três dimensões (CE, E e M) dos fenômenos estruturais estudados aqui.
- Outra interpretação pessoal, contendo profundo significado, foi feita pelo aluno GP, correlacionando geometria e força: "Nesse sistema, o braço de alavanca é determinado pela curvatura casca", ou seja, em " h ", um parâmetro estrutural fundamental. Essa percepção guiará o arquiteto no projeto de construção, considerando-se uma característica estrutural importante desse tipo de sistema estrutural.
- Um outro aluno com baixa adequação (equivalente à abordagem superficial de Prosser) apenas reproduziu tarefas na aprendizagem por memorização. Essa sugestão é mapeada nas respostas seguintes: "a força P é distribuída, assim como as reações, porque H_t e H_c pertencem a uma mesma barra. Se os aumentos L , h aumenta; se os aumentos de P , h também aumenta. Os apoios reagem com V e H transforma o V em reações horizontais." E ainda declarou: "a força P é aplicada e transportada na horizontal para os apoios, porque há tensão e compressão. O aumento do peso P produz um aumento na distância entre H_c e H_t ."
- Um aluno de baixa adequação não mostrou consciência de que o seu entendimento deve ser ampliado através de uma tentativa de relacionar a percepção de sistemas estruturais com o mundo real. Essa interpretação é mapeada nas respostas sobre a Figura 5.3, quando declara: "A seção caixão é uma seção fechada como a viga do MASP, que opera por tração, compressão, corte e flexão". Ele apenas reproduziu os vetores e os nomes das forças internas de outro curso da resistência do material.

- O aluno, em todos os níveis de adequação, reconheceu que os sistemas estruturais estavam intimamente relacionados com o mundo ao seu redor. Essa sugestão é mapeada nas respostas sobre as Figuras 5.14 e 5.15.
- O aluno com abordagem para memorizar informações sem internalizar o seu significado se torna um "caso ocasional", como é mapeado nas Figuras 5.17 e 5.21.

Figura 5.14- ATRACE5 – Aluno RV – altura ativa – sistema vertical

Fonte: Aluno RV

De acordo com o texto do aluno RV, quase todos os elementos PEF foram referenciados, o que poderia ser uma abordagem *holística*. A explicação dada sobre o equilíbrio é profunda, indicando alta **adequação** na interpretação do fenômeno: “a chave do sistema é preocupar-se com as forças laterais (H_c e H_t) que aumentam proporcionalmente a sua altura e esbelteza”.

CE Dimensão em Média Adequação - esse nível descreve uma parte da interpretação de todo o sistema, quando o aluno faz as seguintes declarações: “É um elemento fino que tem uma geometria retangular e trabalha com *reações verticais e horizontais*. A força P provoca deformação na seção da viga.” É uma interpretação parcial incompleta (perspectiva atomística), pois o aluno só focou a seção da viga em termos de geometria (elemento fino) e física (deformação da seção) e percebeu a ação de forças no sistema quando declarou: “*reações verticais e horizontais*”.

Nesse nível de adequação pode-se perceber que o aluno deixa de indicar (i) alguns dos 5 elementos (PEF) e faz menos relações (r) entre esses elementos.

Figura 5.15- MTEDCE2a – Aluno VI

<p>Descreva de forma resumida os principais conceitos de acordo com os autores acima:</p> <p>As superfícies estruturais podem ser compostas para formar mecanismos que reorientam as forças: sistemas estruturais de superfície ativa. A resistência à compressão, tração e cisalhamento é o primeiro requisito e a primeira característica das estruturas de superfície ativa. O potencial da superfície estrutural para fazer as forças mudarem de direção, isto é, para transmitir cargas, depende da posição da superfície com relação à direção da força atuante.</p>	<p>Elabore um mapa conceitual (diagrama) sintetizando os principais conceitos e definições do sistema em estudo;</p> <pre> graph TD SA([Superfície Ativa]) --> AA([Arcos e anéis]) AA --> C([compressão]) C --> A([Anéis]) A --> T([Tração]) </pre>
<p>Dê sua própria definição/conceito sobre o assunto:</p> <p>O sistema de superfície ativa é uma sistema de caráter estrutural e podem reorientar as forças. Uma de suas principais características é a continuidade estrutural dos elementos em dois eixos, assim a superfície se torna resistente à compressão, tração e cisalhamento. A forma da superfície determina o mecanismo portante dos sistemas de superfície ativa.</p>	<p>Desenhe de forma esquemática em corte ou perspectiva uma obra que contenham os sistemas em foco:</p> <p>concha</p> <p>abóboda</p>
<p>Descreva de forma resumida os principais conceitos de acordo com os autores acima:</p> <p>A treliça é um sistema estrutural formado por barras que se unem em pontos denominados nós. Peças compressíveis e tracionáveis em montagem triangular formam uma composição estável, e completa em si mesma que, se apropriadamente suportada, é capaz de receber cargas assimétricas e variáveis, transferindo-as aos extremos. A treliça, por apresentar em suas barras os dois esforços mais favoráveis, constitui um sistema muito econômico em termos de consumo de material, sendo, portanto, útil para vencer grandes vãos.</p>	<p>Elabore um mapa conceitual (diagrama) sintetizando os principais conceitos e definições do sistema em estudo;</p> <pre> graph TD T[TRELIÇAS] --> SB[SÃO BOAS PARA...] T --> FP[FORMADAS POR...] FP --> BN[BARRAS E NÓS] BN --> ST[Suportam tração e compressão] BN --> TE[transmitem os esforços] SB --> VG[VENCER GRANDES VÃOS] SB --> VA[VENCER GRANDES ALTURAS] SB --> CV[CARGAS VARIÁVEIS] CV --> CM[CONSUMIR MENOS MATERIAL] </pre>
<p>Dê sua própria definição/conceito sobre o assunto:</p> <p>Treliças são sistemas estruturais em que barras unidas por nós transmitem esforços de tração e compressão até os pontos de apoio. São úteis para vencer grandes vão e grandes alturas consumindo quantidade resumida de material.</p>	<p>Desenhe de forma esquemática em corte ou perspectiva uma obra que contenham os sistemas em foco:</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>DETALHE</p>

Na Figura 5.15, vê-se o resultado da leitura que o aluno VI realizou no início dos estudos sobre o sistema de suas equipes e depois dos demais sistemas estruturais.

Figura 5.16- MTRACE1 – Aluno IM definindo sistema vetor ativo – treliças

Descrever:
A estrutura é formada a partir de peças triangulares, que se mantêm em equilíbrio, já que suas juntas articuladas suportam as cargas de tração e compressão, geradas pelas cargas que se distribuem ao longo do sistema. As barras direcionam os esforços até os nós, isso permite vencer grandes distâncias sem apoios entre o vão.

Fonte: Aluno IM

Nesse recorte do aluno IM, percebe-se que são relatados conceitos-chaves do sistema de vetor ativo: “peças triangulares” define a geometria das treliças, “suportam tração e compressão” e “as barras direcionam os esforços até os nós”. Embora tenha focado em parte o fenômeno (atomística- o quê), mas de forma profunda (como), acredita-se estar na iminência de se tornar uma abordagem holística, ou seja, focar o fenômeno na sua totalidade (foca o todo - como).

Figura 5.17- MTRACE2 - Aluno AD definindo vetor ativo – treliças

Descrever:
QUANDO SÃO APLICADAS FORÇAS NOS NÓS SÃO GERADOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO QUE SE PROPAGAM AO LONGO DAS BARRAS

Fonte: Aluno AD

Nesse relato parcial, AD, focando apenas parte do fenômeno (atomístico – como), consegue dar profundidade ao significado (o quê): “aplicando forças nos nós são gerados esforços de tração e compressão” na treliça.

Outro aluno: “A distância h entre as reações horizontais deve ser suficiente para resistir à tração e à força de compressão.” Em uma interpretação parcial

(perspectiva atomística), o aluno foca apenas parte do fenômeno envolvido nesse sistema estrutural.

Em "Força P, vão L localizado entre os suportes (apoios), h altura entre o topo da curvatura e a linha da base, e existem reações horizontais de tração e de compressão", o aluno enumerou o conjunto de PEF, provavelmente identificando-os na estrutura. Isso sugere, por um lado, que o aluno tenha atingido um entendimento completo do sistema estrutural desse sistema, ou, por outro lado, apenas partes isoladas do fenômeno. Assim, a ênfase dessa categoria deve ser apenas em partes de todo o sistema, ou por vezes na *superficial*, mas em outras vezes pode envolver uma visão mais *profunda* do fenômeno.

CE Dimensão em Baixa Adequação, isto é, quando há uma falta de foco conceitual, que se torna evidente quando o aluno faz as seguintes declarações:

a) "A força P é distribuída, tanto quanto os suportes porque Ht e Hc pertencem a uma mesma barra. Se aumenta L, h aumenta; se aumenta P, h também aumenta. Os apoios reagem com V, e H transforma V em reações horizontais."

- de uma perspectiva incompleta (atomística), o aluno foca em muitas partes separadas o mecanismo estrutural.
- apesar de superficial, o aluno mostrou que havia muitas ligações importantes entre os parâmetros PEF nesse sistema estrutural.

b) "A seção caixão é uma seção completa, que, como no MASP, opera por tensão, compressão, corte e dobra". No que respeita à interpretação superficial, o aluno se concentra em reproduzir o fenômeno da seguinte forma:

- reproduziu os nomes das forças internas da outra disciplina de resistência dos materiais;
- só foca a secção da viga, isto é, só uma parte do sistema estrutural.

c) "A força P é aplicada e transportada na horizontal para o suporte, porque há tração e compressão. Os aumentos de peso P produzem um aumento na distância entre Hc e Ht. Há dois braços de alavanca, a distância entre P e V nos apoios e a distância entre Hc e Ht." Por uma perspectiva incompleta, o fenômeno aparece para o aluno, da seguinte forma:

- a força e o mecanismo por tração e compressão;
- a relação entre a carga e as reações horizontais;
- os braços de alavanca interno e externo.

Figura 5.18- BTRACE1 - aluno BA definindo distema de forma ativa

Descrever: O SISTEMA ESTRUTURAL DE FORMA ATIVA É REPRESENTADO POR ESTRUTURAS DE MATERIAIS FLEXÍVEIS E NÃO RÍGIDOS, PORÉM COM EXTREMIDADES FIXAS E TENDO ALTA CAPACIDADE DE COBRIR E SUPORTAR GRANDES VÃOS REPRESENTADOS POR L , SENDO A DISTÂNCIA ENTRE OS APOIOS (GRANDEZA GEOMÉTRICA), INTERNAMENTE HÁ FORÇAS HORIZONTAIS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO (H_c E H_t) (GRANDEZAS FÍSICAS) QUE SÃO DEPENDENTES DO TIPO DE MATERIAL UTILIZADO. A DISTÂNCIA ENTRE H_c E H_t É DETERMINADA POR h , OUTRA GRANDEZA GEOMÉTRICA. HÁ AINDA AGINDO NO SISTEMA GRANDEZAS FÍSICAS V (REAÇÃO VERTICAL) E P (CARGA)

Fonte: Aluno BA

Na percepção do aluno BA, tem-se uma descrição do sistema de cabos e arcos sendo feita e parametrizada pelos 5 elementos: "...tendo alta capacidade de cobrir e suportar grandes vãos representados por L (vão), ...". Na sequência observa-se que houve uma preocupação em citar os demais 5 elementos, o que prejudicou uma explicação que revelasse um melhor entendimento do sistema. Portanto, pode-se dizer que houve foco em partes isoladas do sistema (atomístico - como) reproduzindo os 5 elementos (superficial – o que), indicando baixa adequação.

Figura 5.19- ATRACE1 - Aluno LN

Descrever:
 CÚPULAS = arcos seguem na direção dos paralelos e resistem à tração. Os arcos seguem na direção dos meridianos e resistem à compressão.
 PARABOLOIDES = compressão atua nos arcos e tração nos cabos.
 FLISSADOS = compressão atua na direção do peso aplicado, e tração atua nos apoios.

Fonte: Aluno LN

A descrição do aluno LN indica apenas um dos cinco elementos PEF, o que pode ser uma abordagem atomística, e a explicação dada sobre o equilíbrio é *superficial* indicando uma baixa **adequação** na interpretação do fenômeno.

E Dimensão em Alta Adequação, esse nível descreve como todo o sistema pode ser interpretado quando o aluno faz, por exemplo, as seguintes afirmações:

- "Há um momento contra o outro". Do ponto de vista (holístico) completo, o aluno foca o aspecto relacional do equilíbrio do sistema. "A ação de P na alavanca $L/2$ externa provoca um momento externo que..."
- "Todas as forças (P), juntamente com as reações (V) fazem com que o momento externo atinja o equilíbrio". A partir do ponto de vista de uma abordagem mais profunda (foco no significado), o fenômeno aparece ao aluno como o resultado da ação da carga e da reação vertical sobre o braço de alavanca externo ($L/2$).

Nessa dimensão do E, o mecanismo do sistema estrutural foi visto pelo aluno MS na forma como é mostrado na Figura 5.20, em que a ação do par externo ($P \times L / 2$) é indicada no sentido horário, contrariamente ao par interno ($h \times H$), que é anti-horário.

Figura 5.20- TRA - interpretação do aluno MS do M

Fonte: Aluno MS

Nesse nível de adequação, pode-se perceber que o aluno indica (i) a maioria dos 5 elementos (PEF) e faz várias relações (r) entre esses elementos.

Abordagem semelhante é feita na Figura 5.21, a qual foi concebida a partir de uma perspectiva holística (foco no todo), em que o aluno GP foca todos os aspectos do mecanismo e envolve todos os cinco parâmetros PEF.

Figura 5.21 - TRA - Interpretação do aluno GP da EE.

Fonte: Aluno GP

O aluno GP explicou o equilíbrio do sistema, nos seguintes termos: "há um momento contra o outro". Mais uma vez, o momento horário $P \times L$ (M_e) se apresenta contrário ao par $H \times h$ (M_i), no sentido anti-horário.

Figura 5.22- ATRAE1 – Aluno RM interpretando o equilíbrio do arco

Fonte: aluno RM

O desenho do aluno RM indica todos os elementos PEF, o que pode ser uma abordagem *holística*. A explicação dada sobre o equilíbrio é bastante significativa (profunda), o que tende a ser uma alta **adequação** na interpretação do fenômeno (equilíbrio do sistema estrutural).

E Dimensão em Média Adequação descreve uma parte de todo o sistema e foi interpretado pelo aluno nas seguintes afirmações: num sistema vertical "As forças verticais devem criar um momento de equilíbrio para manter o equilíbrio externo". De um ponto de vista atomístico, o fenômeno aparece para o aluno da seguinte maneira: o aluno viu um conjugado indefinido que foi requerido pelo sistema para atingir o equilíbrio: "Força P produz uma força que é equilibrada por $V1 = P / 2$ e $V2 = P / 2 \dots$ ". Desse ponto de vista superficial e atomístico, ele só percebeu o

fenômeno através da relação direta entre a ação (P) e a reação (V). Nesse nível de adequação, pode-se perceber que o aluno deixa de indicar (i) alguns dos 5 elementos (PEF) e faz menos relações (r) entre esses elementos.

Figura 5.23- MTPSE1 – Aluno LF - Sistema forma ativa - cabos e arcos

Fonte: aluno LF

Embora o desenho do aluno LF indique (i) quase todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem holística, a explicação dada sobre o equilíbrio é superficial, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno, além de fazer poucas relações (r) entre os elementos.

A declaração a seguir revela que o fenômeno apareceu para o aluno de uma forma similar. "A força P se espalha pelas barras da treliça e é equilibrada pelas reações dos apoios." Embora a ênfase dessa categoria permaneça na ação e reação de forças, o foco central é sobre os desenhos que o aluno reproduz a partir da disciplina de Resistência dos Materiais, como mostrado na Figura 5.24 pelo aluno SJ.

Figura 5.24 - TRA – Interpretação do aluno SJ do E

Fonte: Aluno SJ

Figura 5.25- MTRAE2 - Aluno CP - Vetor ativo - treliça

Fonte: Aluno CP

Embora apresentem todos os elementos PEF, o desenho da treliça feito pelo aluno CP e a explicação dada sobre o equilíbrio são *superficiais*, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.26 - MTRAEM2 – Aluno KS

Fonte: Aluno KS

No caso do aluno KS há indícios de uma abordagem com maior profundidade: “onde os esforços de tração e compressão atuam nos nós...”, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação dada sobre o equilíbrio é *superficial*, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.27- MTRAE4 – Aluno LP

Fonte: Aluno LP

O desenho do aluno LP indica todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação sobre o equilíbrio é *superficial* indicando, no conjunto, uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.28- MTRAEM4 – Aluno LC

Fonte: Aluno LC

Nos desenhos e descrições do aluno LC, percebe-se um potencial com a indicação de quase todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação sobre o equilíbrio é *superficial*, indicando uma **média**

adequação na interpretação do fenômeno, sendo a relação (r) entre os elementos confusa.

Figura 5.29- MTRAE4a – AlunoVI – Sistema superfície ativa – cascas

Fonte: Aluno VI

O aluno percebeu o equilíbrio do sistema de forma bastante abrangente, identificando (i) vários elementos (PEF) embora tenha feito poucas relações (r) entre eles. Tem potencial para evoluir de média para alta adequação.

Figura 5.30- MTPSE5 – Aluno VI - Sistema altura ativa – edifícios altos

Fonte: Aluno VI

O aluno VI foca partes dos elementos envolvidos no fenômeno (atomística) e relata como o sistema encontra o equilíbrio, dando significado próprio ao funcionamento do sistema estrutural.

E Dimensão em Baixa Adequação, isso ocorre quando há pouco foco conceitual e pode ser interpretado quando o aluno faz as seguintes declarações:

"O peso P é transferido para a viga equilibrar as forças H_t e H_c e então é transferido para os apoios onde há V ." No que diz respeito ao ponto de vista superficial, o aluno foca apenas as forças, o que pode ser confirmado pelo seguinte: "A aplicação da força P gera uma reação de apoio que equilibra a viga externamente"; "As reações V equilibram o sistema, que é submetido a tração e compressão devido à força de P ." Nesse caso, o único fenômeno que aparece para o aluno são as forças verticais, a tração e a compressão.

M Dimensão em Alta Adequação - descreve todo o sistema que pode ser interpretado quando o aluno faz, por exemplo, as seguintes afirmações: "A reação interna H e o braço de alavanca h produzem um momento que equilibra o momento externo". De uma perspectiva "profunda", o fenômeno é focado na forma como o aluno compreende o significado da seguinte forma: o aluno viu a força (H) e o braço (h) gerando o mecanismo interno. Um exemplo adicional desse mecanismo interno é: "As reações internas distantes h produzem um momento que equilibra o momento externo da carga".

Nesse nível de adequação, pode-se perceber que o aluno indica (i) todos os 5 elementos (PEF) e faz várias relações (r) entre esses elementos.

Figura 5.31- ATRAM1c Aluno CM

Fonte: Aluno CM

O desenho e o texto do aluno CM indicam os elementos PEF, o que sugere uma abordagem *holística*, indicando alta **adequação** na interpretação do fenômeno, embora faltem relações (r) entre os elementos.

Figura 5.32- ATRAM1 – Aluno LN – Sistema superfície ativa - cascas

Desenhar:	Descrever:
	<p>As reações de apoio fazem a estrutura girar em sentido $V \times \frac{1}{2}$, e a H_c faz a estrutura girar em $H_c \times h$. Porém essas forças se anulam, graças também a carga P e a H_t, fazendo com que a estrutura permaneça estática.</p>

Fonte: Aluno LN

No desenho e no texto, o aluno LN identifica (i) os elementos PEF e os relaciona (r) na formação do mecanismo da casca. Com isso tem-se uma abordagem *holística*, e através da explicação dada sobre o equilíbrio, um enfoque profundo, indicando uma **alta adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.33- ATRAM1a – Aluno VI – Sistema forma ativa – cabos e arcos

Desenhar:	Descrever:
	<p>A força H_c gera momento de rotação na alavanca e a carga V anula esse torque gerando momento no sentido oposto</p>

Fonte: Aluno VI

De uma forma mais dinâmica, os desenhos do aluno VI indicam o sentido de rotação dos momentos da alavanca. Pode-se considerar uma abordagem de **alta adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.34- ATRAM1b – Aluno BZ

<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever: CONSIDERANDO A ALAVANCA $P/2 \times L/2$, A CARGA P GERA ESFORÇOS INTERNOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO. NO CASO DO ARCO, O ESFORÇO DE COMPRESSÃO TENDE A ROTACIONAR A ALAVANCA, PORÉM A REAÇÃO VERTICAL (V), EM SENTIDO CONTRÁRIO A ESTA FORÇA TENDE A ESTABILIZAR O ELEMENTO.</p>
--	--

Fonte: Aluno BZ

Aqui o desenho e o texto do aluno BZ identificam (i) e relacionam (r) os elementos, sugerindo uma abordagem *holística*, e uma explicação de alta **adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.35- ATRAM4 - Aluno RH

<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever: As reações de apoio rotacionam a estrutura no sentido $v \times L/2$ onde estas são neutralizadas pelas forças opostas de H_c na direção de $H_c \times h$ onde estas neutralizam as reações de apoio, além disso as reações de apoio neutralizam a ação do peso na estrutura.</p>
--	---

Fonte: Aluno RH

O desenho e o texto do aluno RH identificam (i) e relacionam (r) os elementos PEF, gerando uma abordagem *holística* e uma explicação de alta **adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.36- ATRAM2 - Aluno VI – Sistema vetor ativo – treliças

<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever:</p> <p>O equilíbrio acontece através da alavanca gerada pelas forças internas em oposição as externas. Cada uma delas tende a destruir a estrutura para lados opostos, quando o equilíbrio.</p>
--	---

Fonte: Aluno VI

Uma explicação focando os elementos envolvidos no mecanismo do sistema indica que o aluno VI percebeu, de forma significativa, o fenômeno, indicando alta adequação.

Figura 5.37- ATRAM2 – Aluno MC

<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever:</p> <p>a alavanca resulta do apoio e reação do carga sobre o vão, fazendo com que parte da estrutura tende a se movimentar no sentido anti-horário, enquanto as respostas internas de tensão e compressão fazem com que a estrutura tende a girar no sentido horário.</p>
--	---

Fonte: Aluno MC

Aqui também o desenho e o texto do aluno MC identificam (i) e relacionam (r) os elementos PEF, gerando uma abordagem *holística* e uma explicação de alta **adequação** na interpretação do fenômeno.

Do ponto de vista **holístico**, o aluno correlaciona ambos os momentos das forças para definir o equilíbrio interno da viga. Ele se concentrou no aspecto **referencial** do fenômeno (o que): "A força P produz reações verticais que irão

desequilibrar a viga pelo braço de alavanca $L/2$. Um mecanismo interno é ativado pelo braço de alavanca h para manter o equilíbrio."

Figura 5.38 - TRA - Interpretação do Aluno MS do M

Fonte: Aluno MS

No aspecto **estrutural** do fenômeno (como), "as reações internas H e o braço de alavanca h produz um momento que equilibra o momento externo. Um dos lados da viga equilibra o outro", como era evidente para o aluno MS e foi demonstrado na Figura 5.38.

Figura 5.39- ATRAM3 - Aluno LC descreve sistema seção ativa- vigas, grelhas, pórticos

Fonte: Aluno LC

Tudo indica que o aluno LC percebeu o mecanismo do sistema, dando uma interpretação significativa ao fenômeno, de forma holística, fazendo foco no todo pelo desenho e pelo texto. Quando relata de forma metafórica: "o equilíbrio se dá pela aplicação da alavanca", isso pode estar indicando um foco *profundo* (o que) numa abordagem *holística* (como) do fenômeno.

Figura 5.40- ATPSM5 - Aluno LC descreve sistema altura ativa

<p>Desenhar parte da estrutura indicando como ocorre o equilíbrio interno:</p>	<p>Explicar como ocorre este equilíbrio interno:</p> <p>A FORÇA PESO GERA UM MOMENTO QUE FAZ QUE A ALAVANCA TENHA A GIRAR, O QUE NÃO OCORRE, POIS AS FORÇAS DE REAÇÃO (V, Ht e Hc) IMPEDEM.</p>
--	--

Fonte: Aluno LC

Focando o fenômeno como um todo (como), o aluno LC descreve de forma sucinta e precisa (o que) o mecanismo do sistema estrutural: "...a alavanca tende a girar, o que não ocorre, ...", indicando alta adequação.

M Dimensão em Média Adequação – Nesse nível, parte de todo o sistema é descrito e pode ser exemplificado a partir das seguintes afirmações do aluno: "Se tomar uma metade da viga, o momento externo (gerado pelo V e P) equilibra o momento interno (gerado por Hc e Ht)". A partir de uma perspectiva atomística, o aluno percebe o fenômeno da seguinte forma: foca apenas as forças (P, V e h), mas não os braços (L e h). "Como a treliça funciona por tração e compressão, o seu momento torna-se nulo." Nesse caso, o fenômeno também é percebido parcialmente, o que provavelmente são reproduções de conceitos encontrados em livros técnicos. "A distância h deve ser adequada à carga e ter em conta a distância entre a força P e a reação V de apoio." De uma perspectiva incompleta, o fenômeno incide apenas no braço interno (h) e na força (P). Um outro exemplo dessa categoria pode ser visto no seguinte recorte em que a ideia de aplicação das forças contra a distância h é mostrada na Figura 5.40: o aluno viu o fenômeno através das forças e não através dos momentos.

Figura 5.41 - TRA - Interpretação do aluno VP do M

Fonte: Aluno VP

Nesse nível de adequação, é possível perceber que o aluno deixa de indicar (i) alguns dos 5 elementos (PEF) e faz menos relações (r) entre esses elementos.

Figura 5.42- MTRAM4 - Aluno LP

Fonte: Aluno LP

O desenho do aluno LP indica quase todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação dada sobre o equilíbrio é *superficial*, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.43- MTRAM4 do aluno FM.

Fonte: Aluno FM.

O aluno FM identifica (i) os elementos PEF e faz algumas relações (r) entre eles, o que indica uma **média adequação** na interpretação do fenômeno. Evoluindo nesse processo de percepção do fenômeno, o aluno pode chegar a atingir adequação mais alta.

Figura 5.44- MTRAM1b do aluno CM.

Fonte: Aluno CM

O aluno CM identificou (i) os elementos PEF e deu uma explicação *superficial* sobre o mecanismo, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

Figura 5.45- MTRAEM1 do aluno LS.

<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever:</p> <p>$P \rightarrow$ peso vertical $H_c \rightarrow$ horizontal compressão $H_t \rightarrow$ " tração $V \rightarrow$ reação do solo $h \rightarrow$ diferença de H_c e H_t</p>
<p>Desenhar:</p>	<p>Descrever:</p> <p>Alavanca do Dênis que faz o equilíbrio do sistema. Não deixa o sistema desequilibrado pelo seu equilíbrio, tornando os braços da alavanca.</p>

Fonte: Aluno LS.

O aluno LS indicou quase todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação dada sobre o equilíbrio é *superficial*, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno, pois não faz as devidas relações (r) entre os elementos.

Figura 5.46 - MTRAM5 - Aluno AB.

Desenhar:	Descrever:
<p>o sistema de alavancas faz com que as forças gerem momentos de rotação que são anulados pelo sistema já que as cargas são em sentidos opostos gerando momentos p/ os dois lados.</p>

Fonte: Aluno AB.

O desenho do aluno AB indica quase todos os elementos PEF, o que poderia ser uma abordagem *holística*, mas a explicação dada sobre o equilíbrio é *superficial*, indicando uma **média adequação** na interpretação do fenômeno.

M Dimensão em baixa adequação – Nesse nível há carência de foco conceitual, e é interpretado pelo aluno em declarações como as seguintes:

- "A soma das forças são nulas!". Em uma visão atomista (foco parcial), apenas uma pequena parte do fenômeno está envolvida, apenas uma ideia geral que rege todos os sistemas estruturais e que pode ser encontrada em livros técnicos.
- "...a estrutura é desequilibrada pela ação da força P que causa compressão e tração no sistema." Em uma perspectiva atomística, o aluno foca a ideia geral que se baseou em ação e reação e, provavelmente, reproduz a expressão-chave "tração e compressão", que tinha sido destacado no curso.
- "Força P aumenta as forças de tração e compressão (H_t e H_c), que requerem h (braço) para se tornar maior." Embora todos os cinco PEF tenham sido mostrados na Figura 5.46, na percepção do aluno CC, o momento interno ($H \times h$) não causou o equilíbrio no sistema.

Figura 5.47 - TRA - Interpretação do aluno CC.

Fonte: Aluno CC.

A investigação empírica, que foi realizada por meio dos instrumentos TED, TPS e TRA em relação às inter-relações do CE, E e M, baseia-se na codificação das respostas individuais de acordo com as categorias propostas, que proporcionam um procedimento correto para descrever as várias formas de experienciar o fenômeno. Por outro lado, é importante reconhecer que, quanto à codificação das respostas, sempre se está sujeito ao risco de cometer erros. Cada resposta representa apenas uma única maneira especial de experienciar o fenômeno e, durante o preenchimento do instrumento, um indivíduo pode revelar mais que uma forma de experienciar o mesmo fenômeno.

De acordo com a Fenomenografia, uma abordagem de investigação deve determinar a gama de diferentes maneiras em que os fenômenos podem ser experienciados ao invés de constatar com que frequência relativa cada maneira de experienciar pode ser encontrada. Uma amostra fenomenográfica deve ser selecionada para maximizar a possibilidade de variação, e não apenas ser representativa da população relevante ou com base em outros critérios.

Figura 5.48 - Classificação da Concepção e da Abordagem pelos Estudantes.

INSTRUMENTOS	CFSE CONCEPÇÃO	ESTUDANTES																									
		GP	CM	MS	AD	RV	JA	VI	IM	AD	BA	LN	RM	LF	SJ	CP	KS	LP	LC	BZ	RH	MC	VP	FM	LS	AB	CC
TRA	CE	A	M	A	A	M	B	B	M	A	A	A	M	M	A	M	M	M	A	M	A	A	M	A	A	M	E
	M	M	M	M	M	A	A	A	M	A	M	A	A	M	M	B	M	B	A	A	A	M	M	A	M	A	A
	E	A	M	A	M	A	M	M	M	A	A	A	M	A	M	A	A	M	A	A	M	M	A	A	M	A	M
TPS 3	CE	A	B	B	B	M	M	B	M	A	A	M	M	M	B	B	M	M	M	A	A	A	M	A	A	M	A
	M	M	A	B	A	A	M	M	M	A	A	A	M	M	A	M	M	M	A	A	M	M	M	A	A	A	M
	E	A	M	M	M	A	A	A	B	M	M	A	A	A	A	A	M	A	M	A	M	B	A	A	A	A	A
TED 1	CE	M	B	B	A	A	M	B	A	M	M	A	B	B	A	A	M	M	M	B	A	M	B	A	A	B	A

A: Alta adequação M: Média adequação B: Baixa adequação

Fonte: O autor.

Dessa forma, a todas as categorias encontradas foram dados pesos iguais na interpretação dos resultados, e não havia nenhuma tendência de especular sobre a frequência relativa das diferentes categorias ou dar destaque indevido a categorias que ocorreram com mais frequência. Ao mesmo tempo, no entanto, na interpretação dos resultados, houve que se ter em mente a possibilidade de gravar uma categoria imprecisa devido ao potencial que existiria para codificação errada das respostas. A Tabela 5.1 mostra os cinco elementos utilizados neste estudo e as possíveis relações entre eles. Esperava-se que o aluno pudesse identificar os parâmetros e discutir as possíveis relações entre eles. Tecnicamente sabe-se que a força P afeta a reação vertical V e as forças horizontais H , e o vão L e a altura h afetam H (BARISON; BALLAROTTI; PEREIRA, 2008). As outras relações entre esses cinco PEFs não existem no mundo real¹⁵.

¹⁵ O autor e colegas desenvolveram modelos digitais interativos de sistemas estruturais básicos utilizando os cinco elementos (UEL, 2007) para que o aluno pudesse explorar as relações possíveis entre os cinco elementos.

Tabela 5.1 - Identificação (i) e relação (r) dos PEF – principais ocorrências.

Instrumentos	i = identificação					r = relação			
	P	L	h	V	H	VxP	HxP	HxL	Hxh
TRA	x	x		x		x			x
TPS		x	x		x			x	
TED		x	x						

Fonte: O autor.

A investigação dos principais resultados obtidos na sequência dessas categorias permitiu determinar os pontos fracos de compreensão do aluno e, portanto, conceituar as suas dificuldades em aprender sistemas estruturais. "A descoberta e descrição de uma estrutura minuciosa de entendimentos ou conjunto de categorias de descrição de um fenômeno particular é o principal objetivo da análise fenomenográfica" (RAMSDEN *et al.* 1993, p.303). Dentro de cada categoria de compreensão dos fenômenos de sistemas estruturais, os aspectos de "como" e "o que" foram discernidos em termos de recursos estruturais e referenciais. Os recursos estruturais da análise consistem na forma como as fronteiras do fenômeno - mecanismos de sistemas estruturais - são demarcadas por seu contexto e na maneira pela qual são percebidas as inter-relações das partes componentes do fenômeno. Por outro lado, o aspecto referencial é o que, em termos gerais, indica a percepção da ocorrência do fenômeno.

No que diz respeito à maneira como se percebeu o envolvimento dos alunos nas suas tarefas nesta análise, tem-se que o aluno de alta adequação normalmente conseguiu perceber os principais aspectos do fenômeno, mas alguns detalhes ficaram além de sua compreensão. No caso da média adequação, o aluno percebeu vários aspectos do fenômeno, mas não conseguiu perceber outros, e essas lacunas podem ser "significativas". No caso de baixa adequação, o aluno geralmente só teria apreendido alguns detalhes que poderiam ou não ser relevantes. O conjunto de parâmetros e categorias que foi descoberto e analisado neste estudo formam as evidências que mostram como o aluno aprende sobre os sistemas estruturais e respondem às perguntas da pesquisa. Na sequência, algumas conclusões serão indicadas a partir dessas evidências.

5.2 VALIDADE, VERIFICAÇÃO E CONFIABILIDADE

A principal evidência para a validade dos resultados da pesquisa é que esse experimento foi repetido várias vezes durante um período de 7 anos (2008/2014) e empregou basicamente os mesmos instrumentos e procedimentos para explorar a forma como o fenômeno do sistema estrutural foi percebido pelos alunos. Confiabilidade não é um valor para o seu próprio fim, mas como uma pré-condição para a validade. De acordo com Lincoln e Guba (1985), uma medição não confiável não pode ser válida e a confiabilidade geralmente é testada pela replicação no processo de medição ou avaliação.

A principal forma de garantir a validade e a confiabilidade dos resultados de pesquisa foi por meio da forma como os instrumentos foram utilizados. Além disso, uma forte ênfase foi colocada sobre a validade e a confiabilidade de comunicação dialógica dos controles efetuados ao longo do processo de pesquisa. Ao se referir a esse aspecto em seus estudos, Prosser *et al.* (2000, p.64) mencionam que "a confiabilidade dessas classificações foi estudada comparando as classificações com as de outro pesquisador". Isso foi feito aqui também.

Confiabilidade diz respeito à replicabilidade dos resultados da investigação, i.e., se o estudo for repetido, a sua confiabilidade dará uma indicação da extensão para a qual os mesmos resultados seriam obtidos (LINCOLN; GUBA, 1985). A confiabilidade também pode ser melhorada através de triangulação na coleta de dados - o questionário estruturado (TRA) fornece uma conta da aproximação dos alunos com os conceitos de aprendizagem, e a folha de registo estruturada (TPS) fornece evidência de sua abordagem para o curso, juntamente com a planilha estruturada (TED) que registra sua abordagem à leitura do material.

Na interpretação dos dados, foi feita uma tentativa de separar a descrição das relações estruturais entre as categorias a partir da descrição do significado representado por cada categoria, embora fossem interligadas. Focando as variações em diferentes momentos experienciados, a análise pretende fornecer uma maneira de ajudar o leitor a perceber a complexidade dos dados, tendo em conta todos os parâmetros envolvidos. Foi dada ênfase nas diferenças entre as categorias de descrição, concentrando-se em focos primários de cada experiência que elas representavam. Após exame dos aspectos fundamentais de cada categoria de

descrição (e qualquer outra com variações significativas), mostrou-se que cada categoria foi baseada em extratos de respostas pertinentes ao questionário.

A abordagem realizada neste estudo se assemelha à abordagem que é mais comum na Suécia (país de origem da Fenomenografia), onde são selecionados os conceitos-chave de fenômenos obtidos das respostas e análises como unidades de significados individuais. O contexto mais amplo fornecido por toda a abordagem para as respostas foi visto como oferecendo mais oportunidades para interpretar o significado subjacente ou intenção associada a certas palavras e frases exigidas pelos questionários. No entanto, essa abordagem incorre no risco de colocar muita ênfase nos pontos de vista expressos em questionários individuais. Como resultado, foi importante estar ciente de que mais de uma maneira de experienciar um fenômeno pode ser representada dentro de uma mesma abordagem.

5.3 CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE

Este capítulo forneceu uma descrição detalhada dos métodos de coleta de dados e de análise utilizados no presente estudo, que incluem os questionários utilizados, com os desenhos e os comentários feitos pelo aluno. A validação foi realizada com base em dados obtidos pelo uso de perguntas abertas sobre o assunto durante os anos de coleta dos dados principais. Abordagens similares têm sido adotadas nos últimos sete anos, utilizando-se os mesmo formulários e procedimentos didáticos. Os principais dados foram obtidos a partir de uma série de questionários (como descrito no capítulo tres) que foram realizados ao longo do curso (TED, TPS e TRA), sendo o TRA respondido pelo aluno em seu último dia de trabalho na disciplina. Os procedimentos pelos quais todos esses dados foram recolhidos e analisados foram descritos em detalhe neste capítulo. A abordagem da pesquisa fenomenográfica utilizada aqui exige um exame rigoroso da documentação dos instrumentos individuais usados.

A fim de explorar as questões de pesquisa descritas para este estudo, instrumentos e procedimentos foram planejados para investigar quais aspectos de sistemas estruturais são compreendidos pelo aluno. Com isso, mediante a Fenomenografia, este estudo permitiu investigar que aspectos dos conceitos fundamentais de sistemas estruturais não são compreendidos pelo aluno. Esse resultado é de maior valor, uma vez que revela as lacunas e os equívocos de

ambos, alunos e professores, em suas visões sobre os sistemas estruturais. Outra descoberta deste estudo é a evidência de que alunos e professores não têm a consciência da possibilidade de entender como cada sistema estrutural funciona por meio de apenas cinco parâmetros estruturais e como dois tipos de parâmetros (física - vetor de força e geometria - braço de alavanca) podem se utilizar do conceito da alavanca em cada sistema.

A abordagem analítica que foi realizada pode ser considerada como um processo contínuo que envolve a combinação de foco de fenômenos com o de categorias, assim como uma tentativa de integrar os resultados desses dois focos ao longo de um período de tempo. No que diz respeito às respostas individuais, demonstrações específicas foram interpretadas dentro do contexto do conjunto de respostas. No caso de respostas semelhantes (que representam uma categoria de descrição), as respostas individuais foram interpretadas dentro do contexto de todo o grupo de respostas, e o grupo de respostas (ou categorias individuais de descrição) foi interpretado dentro do contexto do conjunto de todas as respostas (ou categorias de descrição) consideradas coletivamente.

A pesquisa fenomenográfica procura refletir a gama de pontos de vista coletivos presentes dentro de um grupo, ao invés dos individuais. Assim, não há qualquer expectativa de que haverá uma relação próxima entre a resposta e as categorias de descrição, e isso faz com que os dados empíricos sejam de origem imperfeita para a categorização, assim como não está claro se as inadequações nos dados podem ou não cobrir as inter-relações estruturais da análise.

Na interpretação dos dados, foi feita uma tentativa de separar a descrição das relações estruturais entre as categorias a partir da descrição do significado representado por cada categoria, embora fossem interligadas. Focando as variações em diferentes momentos experienciados, a análise pretende fornecer uma maneira de ajudar o leitor a perceber a complexidade dos dados, tendo em conta todos os parâmetros envolvidos. Foi dada ênfase nas diferenças entre as categorias de descrição, concentrando-se em focos primários de cada experiência que elas representavam. Após exame dos aspectos fundamentais de cada categoria de descrição (e qualquer outra com variações significativas), mostrou-se que cada categoria foi baseada em extratos de respostas pertinentes ao questionário.

A inclusão nos resultados finais da análise de uma gama de modos de experienciar os sistemas estruturais para os cursos de arquitetura também incluiu uma verificação de validade, já que esse tem sido o tema de inúmeros estudos interpretativos principalmente apoiados por estudos fenomenográficos. Assim, tal como foi mostrado, uma categorização para essa análise pode ser formada a partir dos resultados de alunos que emergiram a partir das respostas dos questionários sobre os fenômenos de sistemas estruturais. Isso ocorreu porque essencialmente os mesmos procedimentos de pesquisa foram utilizados para a constituição de cada uma das categorias. Pode-se dizer que, através dos PEF e dos CFSE, o aluno teve a oportunidade de explorar a complexidade dos sistemas estruturais de uma forma bastante simples e abrangente, permitindo-lhe perceber o fenômeno estrutural nas dimensões CE, E e M. Além disso, a maneira de o aluno compreender e aprender os sistemas estruturais deve continuar a ser explorada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se desenvolveu basicamente em dois ciclos, buscando promover a aprendizagem de Sistemas Estruturais de forma mais efetiva no curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL. O ponto de partida foi o objetivo de investigar o modo como os alunos do 2º ano do curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL aprendem os conceitos básicos de Sistemas Estruturais, e indicar os meios necessários a uma conversão das conclusões alcançadas em conteúdos que realmente realizem a atividade do processo ensino/aprendizagem.

No primeiro ciclo, buscou-se entender todo o processo de ensino aprendizagem, a fim de encontrar os fundamentos da aprendizagem em que se pudessem situar o tratamento dos conceitos básicos dos Sistemas Estruturais. Nessa etapa, o trabalho era realizado por meio da Metodologia da Problematização para desenvolver o plano de ensino da disciplina e o instrumento TRA (tabela do resultado do aprendizado), que então se traduzia nos seguintes passos:

1. Encontrar edificação que contenha o sistema estrutural a ser estudado
2. Recortar os principais elementos estruturais a serem estudados
3. Estudar o comportamento estrutural desses elementos na literatura
4. Projetar um protótipo que representasse o funcionamento do sistema
5. Construir e testar o protótipo do sistema estrutural estudado

Por essa mesma metodologia, foram desenvolvidos os instrumentos TPS (tabela do protótipo e seminário) que se constituíam de cinco fichas através das quais se fazia o acompanhamento dos cinco passos da Metodologia ao longo da disciplina. O primeiro deles se constituiu na identificação das edificações que continham o sistema estrutural estudado, fazendo o aluno entrar em contato com o mundo real. No passo conclusivo, o aluno voltou ao mundo real quando construiu e testou o protótipo do sistema estrutural estudado. Essa metodologia contém princípios que foram úteis e deram base para o prosseguimento da pesquisa, porém era necessário expandir e aprofundar a abordagem e essa demanda não podia ser inteiramente resolvida no âmbito dos preceitos desse enfoque. Surgiram, então, os fundamentos da fenomenografia.

No segundo ciclo, a partir do encontro de uma metodologia de aprendizagem para desenvolver precedimentos que pudessem levar os alunos a entender e incorporar os conceitos básicos fundamentais dos Sistemas Estruturais, a perspectiva teórica e metodológica da Fenomenografia, trouxe a visão de executar a descrição do “o quê” os alunos aprendem, considerando-a tão importante quanto a descrição do “como” eles aprendem, quando se trata dos aspectos estrutural (como) e referencial (o quê). Portanto, as concepções dos alunos passaram a contextualizar, com maior nitidez, os aspectos estrutural e referencial da aprendizagem. O aspecto estrutural, por exemplo, apresentou “como” a explicação do fenômeno é dada ou estruturada, e o aspecto referencial abordou “o que” foi focado ou referenciado na explicação dada pelo aluno.

O momento em que o estudante adotou uma abordagem holística procurando integrar e relacionar o material que eles estão estudando, foi entendido como de “alta adequação”. Ao passo que, quando o estudante adotou a abordagem atomística, ele tendeu a memorizar partes desconexas do conteúdo a ser estudado, sem implementar nenhuma estrutura coerente ao contexto do estudo. Nesse caso, a conduta se enquadrou no que se designou “baixa adequação” para a interpretação do fenômeno. Na coerência obtida por essas classificações assentaram-se as inferências do estudo realizado nesta tese.

A Teoria dos Cinco Elementos, explanada no capítulo quatro, serviu para o aluno poder encontrar a razão de ser de cada elemento, ou seja, o princípio pelo qual é gerado cada um dos cinco elementos estruturais, percepção indispensável para que se processe o aprendizado buscado por ele e por seu professor. Afasta-se desse modo a perspectiva mecanicista e reprodutivista.

O aluno aprendeu de forma mais efetiva a partir do momento em que percebeu – e ganhou consciência do significado de elevar a baixa para a alta adequação – os cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF: P, H, V, L e h) nos sistemas estruturais básicos, que são os sistemas que utilizam cabos, arcos e membranas; treliças; vigas grelhas e pórticos; cascas; e sistemas verticais. Com a identificação (i) dos cinco PEF, o aluno relacionou (r) esses elementos entre si e indicou, após as sucessivas correções de nível de adequação, as relações possíveis de causa e efeito entre eles, conforme se observou nas análises do capítulo cinco. Contextualizando estas relações, o aluno se habilitou, por exemplo, a fazer uso das tabelas de Ballast (1988) para ajustar as dimensões dos elementos estruturais, de

acordo com o vão em cada sistema em seus projetos arquitetônicos. Portanto, o aprendizado sobre sistemas estruturais passou pela identificação (i – o quê) e relação (r – como) dos cinco PEF, o que se constituiu na percepção dos fenômenos associados aos *conceitos fundamentais de sistemas estruturais* (CFSE: CE, M e E).

Os alunos tiveram que superar suas próprias limitações para enfrentar o desafio de aprender um assunto como estruturas. Há vários níveis de aprendizagem de acordo com a taxonomia da Fenomenografia, sendo que no nível mais elevado, é ter se transformado como pessoa (diante do assunto apreendido). O que eles aprenderam se tornou, então, parte deles próprios, e isso é uma visão construtivista do processo de aprendizagem, sendo esse um princípio central, um fundamento e uma forma de operar com a Fenomenografia. A diferença com um processo reprodutivista de ensino e aprendizagem, é que nessa última, os alunos simplesmente assistiam às aulas e se preparavam para seus exames, às vezes fazendo reproduções do exame do ano anterior. Nessas condições, os exames se tornaram um mero evento escolar e, para isso, avidamente memorizavam informações ao invés de tentar entender e incorporar os fenômenos estudados e desenvolver habilidades de tratá-los em profundidade.

A análise dos dados foi realizada considerando as três dimensões dos *conceitos fundamentais de sistemas estruturais* (CFSE: CE, M e E), que utilizam os cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF: P, H, V, L e h) em cada Sistema Estrutural. Portanto, a partir dos parâmetros acima, a análise foi desenvolvida tendo como meta mapear, por meio dos níveis de adequação a ser corrigida e melhorada (em substituição aos conceitos de certo ou errado) os graus de percepção do aluno que, de acordo com os aspectos estruturais e referenciais da Fenomenografia, poderiam ser entendidos da seguinte forma:

- a) Como: holística (foco no todo) ou atomística (foco em partes) – *aspecto estrutural*,
- b) O quê: profunda (foco no significado) ou superficial (foco na reprodução) – *aspecto referencial*, que se estabeleceu em três níveis de adequação para interpretar e categorizar os dados.

Foi aplicada uma taxonomia, e isso significou que, como os alunos mudaram como pessoas (ideal maior da abordagem fenomenográfica), eles puderam melhorar o que eles internalizaram, para que pudessem realizar, com percepção mais aguçada, as atividades no contexto do ambiente da aprendizagem. Como o que eles aprenderam se tornou parte deles próprios, a tese que se pode defender é de que o aluno “se misturou ao assunto” apreendido por ter incorporado os principais conceitos. Com isso, ganhou intimidade com o funcionamento de um fenômeno, passando a representar e interpretar os demais fenômenos pertinentes, ou seja, o aluno se submeteu a uma experiência que o fez aprender a aprender e não se satisfazer com respostas que não passem por permanente refinamento e readequação.

Na análise dos dados, foi constatado que o aluno em alta adequação percebeu o funcionamento dos sistemas estruturais. Esse entendimento se revelou através dos *conceitos fundamentais de sistemas estruturais* (CFSE: CE, M e E), onde os alunos identificaram e relacionaram os cinco parâmetros estruturais fundamentais (PEF: P, H, V, L e h) para cada sistema estrutural.

Trata-se, portanto, de uma experiência e de uma prática de pesquisa que só têm começo: o futuro é de incessante redescoberta e aperfeiçoamento. Pode-se considerar a utilização dos resultados de acertos e erros dos alunos de anos anteriores para desenvolver a discussão dos conceitos com os atuais estudantes, numa fase intermediária da disciplina de Sistemas Estruturais. A discussão sobre que solução deveria substituir as que foram dadas no momento da experiência, tem ela própria, o poder de ensinar e fazer perceber. A exposição ao ambiente de pesquisa fenomenográfica fornece, aos novos alunos, elementos de representação dos parâmetros estruturais na linguagem dos próprios alunos. Isso permite uma maior identidade e familiaridade com os conceitos mais abstratos de estruturas. Acreditamos que os resultados do TED e do TRA poderão ser bem recebidos pelos alunos, havendo curiosidade e identificação com os erros e acertos de seus colegas predecessores.

Todo esse material coletado ao longo de vários anos poderá ser utilizado em termos de acelerar a percepção e a aprendizagem dos alunos sobre os conceitos estruturais. Da mesma forma, em termos de retroalimentação do processo ensino aprendizagem, trará subsídios aos professores na forma de apresentar e orientar os

alunos em relação aos conteúdos essenciais na percepção e formação dos conceitos dos sistemas estruturais.

Assim como se desenvolveu a conceituação e representação com desenhos no capítulo quatro, intitulado “A teoria dos parâmetros estruturais fundamentais”, outro aspecto a ser investigado seria o de associar as disciplinas de sistemas estruturais com a disciplina de desenho arquitetônico. Os alunos aprenderiam a fazer a representação do projeto de uma edificação com a indicação do sistema estrutural a ela pertinente, por meio de um trabalho conjunto de conteúdos, representação e identificação das estruturas no desenvolvimento do projeto arquitetônico. O mérito fundamental é o ganho de percepção, porém, mais do que isso é o crescimento proporcionado (meta de toda pesquisa com seres humanos) pela consciência desse ganho.

REFERÊNCIAS

- ADLER, M. J.; DOREN, C. V. *How to read a book: the art of getting a liberal education*. Washington, US: Simon & Shuster, 1972.
- AKERLIND, G. S. A new dimension to understanding university teaching. *Teaching in Higher Education*, Oxfordshire, v. 9, n. 3, p. 363-375, 2004.
- AKERLIND, G. S. *Growing & developing as an academic: implications for academic development, academia & academic work*. 2003. Thesis (PhD) - University of Sydney, Sidney, 2003.
- AKERLIND, G. S. Principles & practice in phenomenographic research. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CURRENT ISSUES IN PHENOMENOGRAPHY, 2002, Canberra. *Proceedings...* Canberra: Australian National University, 2002.
- ARMSTRONG, E. A hybrid model of problem-based Learning. In: BOUD, D.; FELETTI, G. (Ed.). *The challenge of problem-based learning*. London: Kogan, 1991. p. 137-149.
- AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. S.; HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1978.
- BADDELEY, A. Working memory. *Science*, New York, v. 255, n. 5044, p. 556-559, Jan. 1992.
- BALLAROTTI, C. Diretrizes normativas relativas a portas de madeira de edificações. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 9., 2013, Maringá. *Anais...* Maringá, 2013.
- BALLAROTTI, C. Modelos físicos didáticos de estruturas. *Notícia*, Londrina, n. n. 1039, 2005.
- BALLAROTTI, C. *et al.* A utilização do eucalipto grandis em esquadrias: uma alternativa ecológica e tecnológica. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 8., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá, 2011. p. 22.
- BALLAROTTI, C. *et al.* Aprendizado dos conceitos básicos de sistemas estruturais em cursos de arquitetura e engenharia numa perspectiva fenomenográfica. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 6., 2007, Maringá. *Anais...* Maringá, 2007. p. 42.
- BALLAROTTI, C.; BARISON, M.B.; POLA, M. C. R. Aprendizagem de estruturas auxiliado por desenho e geometria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2007. *Anais...* Curitiba, 2007a. p.159-162.

BALLAROTTI, C.; BARISON, M. B.; POLA, M. C. R. Structural systems learning assisted by dynamic interactive geometry: a phenomenographic approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS & DESIGN, 7., SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 18., 2007, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 2007b. p. 97-106.

BALLAROTTI, C.; BARISON, M. B.; POLA, M. C. R. DEGESTRU – Aprendizaje de Estructuras Apoyado nel Dibujo y Geometría. In: CONFERENCIA INTERNATIONAL DE MATEMÁTICA Y DISEÑO, 5., 2007, Blumenau. *Anais...* Blumenau, 2007c. p. 139-146.

BALLAROTTI, C.; BARISON, M. B.; PEREIRA, R.C. Uso de Modelos Digitais Interativos 2D e 3D no ensino de geometria e estruturas. In: ROCHA, A. A. *et al.* (Org.). *Educação, Mercado e Desenvolvimento: mais e melhores engenheiros*. São Paulo: ABENGE, 2008. p. 2012-221.

BALLAROTTI, C.; BARISON, M. B.; ROCHA, R. P. Uso de Modelos Digitais Interativos no ensino de geometria e estruturas. In: COBENGE - CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 36., 2008, São Paulo. *Anais ...* São Paulo: 2008. v. 1.

BALLAROTTI, C.; CUNTO, I. Uso do BIM: bulding information modeling por arquitetos, engenheiros e empresas de construção civil na cidade de Londrina, Paraná. *Revista Terra e Cultura*, Londrina, n. 59, p. 105-118, 2014.

BALLAROTTI, C.; FERRAZ, D. Jogo de memória sobre os cinco elementos. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 2007.

BALLAROTTI, C.; MARTINS SIQUEIRA, C. P. C.; YARA, F. A. L. Criação de um modelo de ensino para análise da biomecânica da orientação da cabeça femoral. In: XIV SIMPÓSIO DE EXPERIÊNCIAS E PESQUISAS INTEGRADAS DE ENSINO, SERVIÇOS E COMUNIDADE – SEPIESC, 14., MOSTRA CIENTIFICA DO CCS, 7., 2014, Londrina. No prelo.

BALLAROTTI, C.; MORAES, D. M. *As estruturas falam: desenho animado*. Rio de Janeiro, Biblioteca Nacional, 2007.

BALLAROTTI, C.; NAMPO, D. K. Teaching structures with the support of the theory of problematization & the construction of prototypes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING & COMPUTER EDUCATION, 2000, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2000.

BALLAST, D. K. *Architect's handbook of formulas, tables, and mathematical calculations*. Califórnia: Prentice Hall, 1988.

BANERJEE, H. K.; GRAAFF, E. Problem-based learning in architecture: problems of integration of technical disciplines. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 21, p. 185-195, 1996.

BARNETT, R. *The Idea of higher education*. Buckingham: SRHE & Open University Press, 1990.

BARROWS, H. S.; TAMBLYN, R. M. *Problem-based learning: an approach to medical education*. New York: Springer P. Company, 1980.

BARTALO, L. *Mensuração de estratégias de estudo e aprendizagem de alunos universitários*. 2006. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Estadual Paulista, Marília, 2006.

BECKETT, D. Civil engineering history - broadening the outlook. *Civil & Structural Engineering Education*, Bradford, v. 15, p. 589-599, 2000.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. *Vector mechanics for engineers: statics*. singapore. New York: McGraw-Hill, 1972.

BERBEL, N. A. N. *Metodologia da problematização: fundamentos e aplicações*. Londrina: Editora UEL, 1999.

BIGGS, J. B.; COLLIS, K. F. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. London: Academic Press, 1982.

BIGGS, J. B.; MOORE, P. J. *The process of learning*. London: Prentice-Hall, 1993.

BIGGS, J. *Study process questionnaire (SPQ): manual*. Hawthorn: Australian Council for Educational Research, 1987.

BIGGS, J. *Teaching for quality learning at university: what the student does*. Buckingham: Open University Press, 1999.

BIGGS, J. What do inventories of students' learning processes really measure? A theoretical review & clarification. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v. 63, p. 3-19, Feb. 1993.

BIGGS, J.; KEMBER, D.; LEUNG, Y. P. The revised two-factor study process questionnaire: R-SPQ-2F. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v. 71, p. 133-149, 2001.

BLOOM, B. S. *Taxonomy of educational objectives*. New York: Longmans Green, 1956.

BORDENAVE, J.; PEREIRA, A. M. *Estratégias de ensino-aprendizagem*. Petrópolis: Vozes, 1989.

BOUD, D.; FELETTI, G. *The challenge of problem-based learning*. London: Kogan Page, 1991.

BOULTON-LEWIS, G. *et al.* A longitudinal study of learning for a group of indigenous Australian University Students: dissonant conceptions & strategies. *Higher Education*, Washington, v. 47, p. 91-112, 2004.

BOWDEN, J. A. Phenomenographic research: some methodological issues. In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996. p. 49-66.

BOWDEN, J.; MARTON, F. *The university of learning*. London: RoutledgeFalmer, 1998.

BRINGHENTI, I. *Ensino na escola politécnica da USP: fundamentos para o ensino de engenharia*. São Paulo: EPUSP, 1993.

BROOKER, E. H. *Pedagogy, class & culture: a study of young children's learning at home & school*. 2000. Tese (Doutorado) - University of London, Institute of Education, London, 2000.

BROWN, A. J.; DOWLING, P. C. *Doing Research/reading research: a mode of interrogation for education*. London: Routledge Falmer, 1998.

BRUNER, J. S. *Acts of meaning*. USA: Harvard College, 1990.

BRUNER, J. S. *Toward a theory of instruction*. Cambridge: Belknap Press, 1966.

BRUNER, J. S. *The process of education*. London: Oxford University Press, 1960.

BURNS, J.; CLIFT, J.; DUNCAN, J. Understanding of understanding: implications for learning & teaching. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v. 61, p. 276-289, 1991.

CALÇAS, D. A. N. Q. P. *Projeto pedagógico e avaliação no curso de engenharia civil: um estudo de caso*. 2009. Tese (Doutorado) – UNESP, Marília, 2009.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. *Experimental & quasi-experimental design for research*. Chicago: Rand McNally, 1966.

CARRIERI, R. *Concepção estrutural, um guia para estudantes de arquitetura*. 2001. Dissertação (Mestrado Tecnologia de Arquitetura) – FAU, USP, São Paulo, 2001.

CASE, J. *Students' perceptions of context, approaches to learning & metacognitive development in a second year chemical engineering course*. 2000. Tese (Doutorado) - Monash University, Victoria, 2000.

CASE, J.; GUNSTONE, R. Metacognitive development as a shift in approach to learning: an in-depth study. *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 27, n. 4, p. 459-470, 2002.

CASE, J.; MARSHALL, D. Between deep & surface: procedural approaches to learning in engineering education contexts. *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 29, v. 5, p. 605-615, 2004.

CAWLEY, P. A problem-based Module in mechanical engineering. In: BOUD, D.; FELETTI, G. (Ed.). *The challenge of problem-based learning*. London: Kogan Page, 1991. p. 185-193.

CAWLEY, P. The introduction of a problem-based option into a conventional engineering degree course. *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 14, p. 83-95, 1989.

CLARK, L. A. The teaching of structural engineering in a rapidly changing world. In: CIVIL & STRUCTURAL ENGINEERING EDUCATION, 21., 2000, Southampton. *Proceedings...* Southampton, 2000. p. 145-155.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. *Research methods in education*. London: Routledge Falmer, 2000.

COLLIER-REED, B. *Exploring learners' conceptions of technology*. In: ANNUAL MEETING OF THE SOUTHERN AFRICAN ASSOCIATION FOR RESEARCH IN MATHEMATICS, 18., 2009, Grahamstown. *Proceedings...* Grahamstown, 2009.

COLLIER-REED, B. *Pupils' experience of technology: exploring dimensions of technology literacy*. Saarbrücken: VDM Verlag, 2008.

COLLIER-REED, B. *Pupils' experiences of technology: exploring dimensions of technological literacy*. 2006. Tese (Doutorado) - University of Cape Town, Cape Town, 2006.

COLLIER-REED, B.; CASE, J. M.; LINDER, C. The experience of interacting with technological artefacts. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 34, n. 4, p. 295-302, 2009.

COLLIER-REED, B.; INGERMAN, A.; BERGLUND, A. Reflections on trustworthiness in phenomenographic research: recognising purpose, context and change in the process of research. *Education as Change*, United States, v. 13, n. 2, p. 339-355, 2009.

CONTANI, M. L.; PANICHI, E. *Pedro Navas e a construção do texto*. Londrina: EDUEL, 2003.

CROTTY, M. *The foundations of social research*. London: Sage, 1998.

DALL'ALBA, G. Reflections on phenomenography: an introduction. In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996. p. 7-34.

DAVID, T. *et al. Problem-based learning in medicine*. London: Royal Society of Medicine Press, 1999.

DEWEY, J. *Experience & education*. New York: Kappa Delta PI, 1938.

DIAS, A. *et al. Introdução aos sistemas estruturais*. São Carlos: EESC, USP, 2011.

DI PIETRO, João Eduardo. *O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto*. 2000. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DOMINGO, J. L. O. *Los diez libros de arquitectura*. Madrid: Alianza, 1995.

EDWARD, N. S. Evaluation of a constructivist approach to student induction in relation to students' learning styles. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 26, n. 4, p. 429-440, 2001.

ELEY, M. Differential adoption of study approaches within individual students. *Higher Education*, Washington, v. 23, n. 3, p. 231-254, 1992.

ELLIS, R. A. *et al.* Engineering students' conceptions of and approaches to learning through discussions in face-to-face and online contexts. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 18, n. 3, p. 267-282, 2008.

ENGEL, C. E. Not just a method but a way of learning. In: BOUD, D.; FELETTI, G. (Ed.). *The challenge of problem-based learning*. London: Kogan Page, 1991. p. 21-32.

ENGEL, H. *Structure systems*. New York: Praeger, 1981.

ENTWISTLE, N. J.; ENTWISTLE, A. Contrasting forms of understanding for degree examinations: the student experience & its implications. *Higher Education*, Washington, v. 22, p. 205-227, 1991.

ENTWISTLE, N. J.; RAMSDEN, P. *Understanding students learning*. London: Croom Helm, 1983.

FLAVELL, J. H. *The developmental psychology of Jean Piaget*. New Jersey: Van Nostrand, 1971.

FLEMING, W. G. The interview: a neglected issue in research on student learning. *Higher Education*, Washington, v. 15, p. 547-563, 1986.

FRANCIS, H. Advancing phenomenography – questions of method. In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996. p. 35-48.

FREIRE, L. G. L. As concepções de aprendizagem segundo a fenomenografia. In: ENCONTRO GALAICO – PORTUGUÊS DE EDUCADORES PELA PAZ, 22., 2008, Galiza. *A Página da Educação*, Galiza, v. 17, n. 177, p. 45, 2008.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 25. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.

FREIRE, P. *Teachers as cultural workers*. UK: Westview Press, 1998.

GARDNER, H. *Multiple intelligence: the theory in practice*. New York: Basic Books, 1993.

GÓMEZ, A. P. O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo. In: TÓVOA, A. (Org.). *Os professores e sua formação*. Lisboa: Publicações D. Quixote, 1992. p. 93-114.

GROAT, Linda; WANG, David. *Architectural Research Methods*. Reviewed by Kerry London and Michael Ostwald New York: John Wiley and Sons, 2002.

GROPIUS, W. *Scope of total architecture*. New York: Harper & Row, 1968.

GUBRIUM, J.; HOLSTEIN, J. *Handbook of interview research*. London: Sage, 2002.

HADGRAFT, R. G. Student reactions to a problem-based, fourth-year computing elective in civil engineering. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 22, p. 115-148, 1997.

HADGRAFT, R. G. A problem-based approach to a civil engineering education. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 18, p. 301-311, 1993.

HADGRAFT, R. G. Experiences of Two problem-oriented courses in civil engineering. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 17, p. 345-353, 1992.

HAMMERSLEY, M. Some notes on the terms 'validity' & reliability'. *British Educational Research Journal*, Oxfordshire, v. 13, n. 1, p. 73-81, 1987.

HENDRY, G. D.; FROMMER, M.; WALKER, R. A. Constructivism & problem-based learning. *Journal of Further & Higher Education*, London, v. 23, n. 3, p. 359-371, 1999.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. *The Physics Teacher*, College Park, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.

HIROTA, E. H. *Desenvolvimento de competências para a introdução de inovações gerenciais na construção através da aprendizagem na ação*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HOWARD JUNIOR, H. S. *Structure: an architect's approach*. London: McGraw- Hill, 1966.

HULL, C. Differences in students' perceptions of leaning physics. *British Educational Research Journal*, Oxfordshire, v. 11, n. 1, p. 27-32, 1985.

HUNT, T. *Tony hunt's structures notebook*. Oxford: Architectural Press, 1997.

JI, T.; BELL, A. Seeing and touching structural concepts in class teaching. *Civil & Structural Engineering Education*, Bradford, v. 15, p. 601-612, 2000.

JOHNSON, B. Toward a new classification of nonexperimental quantitative research. *Educational Research*, Oxfordshire, v. 30, n. 2, p. 3-13, 2001.

KANT, I. *The Critique of pure reason (kritik der reinen vernunft)*. Translated by J. M. D. Meiklejohn. 1781.

KIKUCHI, E. M.; SODRE, T. M. *Saúde do adulto I: módulos dos alunos*. Londrina: UEL, 2000.

KIKUCHI, E. M.; TAKAHASHI, O. C.; GARANHANI, M. L. Subsídios metodológicos para implementação do currículo integrado do curso de graduação em enfermagem da Uel. *Olho Mágico*, Londrina, v. 22, p. 30-34, 2000.

KNOWLES, M. S.; HOLTON, E. F.; SWANSON, R. A. *The adult learner: the definitive classic in adult education and human resource development*. Houston, Tex: Gulf Pub. Co, 1998.

KOCH, N. T. O. *O professor, os alunos e a formação das competências matemáticas: o caso das estruturas aditivas*. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KOLMOS, A. Reflections on project work & problem-based Learning. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 21, p. 141-148, 1996.

LANGER, S. K. *Philosophical sketches*. Baltimore: John Hopkins Press, 1962.

LEA, J. S.; STEPHENSON, D.; TROY, J. Higher education students' attitudes to students-centred learning: beyond 'educational bulimia'? *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 28, n. 3, p. 321-334, 2003.

LEITE, M. A. D. F. A. *A Aprendizagem tecnológica do arquiteto*. 2005. Tese (Doutorado Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LENSCHOW, R. J. From teaching to learning: a paradigm shift in engineering education & lifelong learning. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 23, n. 2, p. 155-161, 1998.

LIGHT, G.; COX, R. *Learning & teaching in higher education*. London: Paul Chapman, 2001.

LINCOLN, Y.; GUBA, E. *Naturalistic inquiry*. Newbury Park: Sage, 1985.

LINDER, C. Is teacher-reflected epistemology a source of conceptual difficulty in physics?. *International Journal of Science Education*, London, v. 14, p. 111-121, 1992.

LORRIGIO, P. *Sistemas estruturais*. 1975. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MACH, E. *The Science of Mechanics*. London: The Open Court Publishing Co. La Salle, 1942.

MARSHALL, D. *The relationship between learning conceptions, approaches to learning, & leaning outcomes in foundation years engineering students*. DPhil Thesis, University of Oxford, 1995.

MARSHALL, D.; SUMMERS, M.; WOOLNOUGH, B. Students' conceptions of learning in an engineering context. *Higher Education*, Washington, v. 38, p. 291-309, 1999.

MARTIN, E. Introduction: Special Issue in tribute to John Bowden. *Higher Education Research & Development*, New Zealand, v. 24, n. 4, p. 287-291, 2005.

MARTON, F. Cognosco ergo sum – reflections on reflections. In: DALL'ALBA, Gloria; HASSELGREN, Biorn (Ed.). *Reflections on phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996.

MARTON, F. Phenomenography – Describing Conceptions of the World Around Us. *Instructional Science*, Amsterdam, v.10, p. 177-200, 1981a.

MARTON, F. *Phenomenography & 'the art of teaching all things to all men'*. Sweden: House Publication, Gothenburg University, 1981b.

MARTON, F.; BOOTH, S. *Learning & Awareness*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1997.

MARTON, F.; DALL'ALBA, G.; BEATY, E. Conceptions of Learning. *International Journal of Educational Research*, Oxford, v.19, p. 277-300, 1993.

MARTON, F.; PONG, W.Y. On the unit of description in phenomenography. *Higher Education Research & Development*, New Zealand, v.24, n. 4, p. 335-348, 2005.

MARTON, F.; RUNESSON, U.; TSUI, A. B. M. The space of learning. Chapter 1 In: MARTON, F.; TSUI, A. B. *Classroom discourse & the space of learning*. Mahwah, N J: Lawrence Erlbaum, 2004b. p. 3-40.

MARTON, F.; SALJO, R. Approaches to Learning. In: FERENCE MARTON, Dai Hounsell; ENTWISTLE, Noel (Ed.). *The Experience of Learning Edinburgh: Scottish Academic Press*, 1984. p.39-58.

MARTON, F.; SALJO, R. On Qualitative Differences in Learning: I - Outcome & Process. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v.46, p. 4-11, 1976a.

MARTON, F.; SALJO, R. On Qualitative Differences in Learning: II - Outcome as a Function of the Learner's Conception of the Task. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v. 46, p. 115-127, 1976b.

MARTON, F.; TSUI, A. *Classroom discourse & the space of learning*. Hillsdale, NJ: Lawrence, 2004a.

MASETTO, M. *Aulas vivas*. (Alive Lectures). São Paulo: MG Editores Associados, 1992.

MCCALL, W. A. How to experiment in education. In: CAMPBELL, D.T.; STANLEY, J.C. (Ed.). *Experimental & Quasi-Experimental Design for Research*. Chicago: Rand McNally, 1923.

MCDERMOTT, L.C. Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. In: INTERNATIONAL SUMMER WORKSHOP: *Research on Physics Education*, held in La Londe les Maures, 1983, France.

MELLES, G. *Research literacies & enlarging 'ethnos' within migrant English teaching*. In: AARE SYDNEY 2000 CONFERENCE, 2000, Sydney. *Proceedings...* Sydney: Australian Association for Research in Education, University of Sydney, 2000.

MINTO, F. C. N. *A Experimentação prática construtiva na formação do arquiteto*. 2009. 223 fls. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo. (2009)

MION, R.A. *Investigação-Ação e a Formação de Professores em Física: o papel da intenção na produção do conhecimento crítico*. 2002. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MIZUKAMI, M.G.N. *Ensino: as abordagens do processo*. São Paulo: EPU, 1986.

MOORE, Alex *Teaching & Learning: pedagogy, curriculum & culture*. London: Routledge Falmer, 2000.

MOREIRA, M.A. Vergnaud's conceptual field theory, science education, & research in this area. *Investigações em Ensino de Ciência*, v. 7, n. 1, p.1-22, 2004.

MORGAN, A.; HOLLY, L. Adult change & development: the interactions of learning with people's lives, In: Graham Gibbs (Ed.). *Improving student learning: theory & practice*, OCSd, 1994.

MORGAN, W. *The Elements of Structure*. London: Pitman Publishing, 1979.

NEWTON, P. The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 6, p. 553-577, 1999.

NOVAK, J.D. Meaningful Learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Instructional Science*, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 548-571, 2002.

OSBORNE, J. F. Beyond Constructivism. *Science Education*, Salem, v.80, n. 1, p. 53-82, 1996.

PEREIRA, L.T.V.; BAZZO, W.A. *Ensino de Engenharia - na busca do seu aprimoramento*. Florianópolis: Ed. UFSC, 1997.

PERRENET, J.C.; BOUHUIJS, P.A.J.; SMITS, J.G.M.M. The Suitability of Problem-based Learning for Engineering Education: Theory & practice. *Teaching in Higher Education*, Oxfordshire, v. 5, p. 345-358, 2000.

PERRONE, Vito. Reflections on Teaching: Learning to Teach & Teaching to Learn. *Teachers College Record*, New York, v. 98, n. 4, p.637-652, 1997.

PHILLIPS, D.V. A Design, Build & Test Project in Structural Engineering. *Civil & Structural Engineering Education*, v.15, p. 217-228, 2000.

PIAGET, J. *The Development of Thought*. Oxford: Blackwell, 1975.

PIAGET, J. *Psicologia e Pedagogia*. Rio de Janeiro: Forense, 1970.

POLILLO, A. *Considerações sobre o ensino de estruturas nos cursos de formação de arquitetos*. Rio de Janeiro: UFRJ, Sedegra, 1968.

PROSSER, M. A phenomenographic study of students' intuitive and conceptual understanding of certain electrical phenomena. *Instructional Science*, Amsterdam, v. 22, p.189-205, 1994.

PROSSER, M. *et al.* Dissonance in experience of teaching & its relation to the quality of student learning. *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 28, n. 1, p.37-48, 2003.

PROSSER, M. *et al.* Students' experiences of studying physics concepts: The effects of disintegrated perceptions & approaches. *European Journal of Psychology of Education*, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 61-74, 2000.

PROSSER, M.; MILLAR, R. The "How" & "What" of Learning Physics. *European Journal of Psychology of Education*, Lisboa, v.4, n. 4, p. 513-528, 1989.

PROSSER, M.; TRIGWELL, K. Qualitative variation in approaches to university teaching and learning in large first-year classes. *Higher Education*, Washington, v. 67, n.6, p.783-795, 2014.

PROSSER, M.; TRIGWELL, K. *Understanding learning & teaching: the experience in higher education*. Milton Keynes: Open University Press, 1998.

PROSSER, M.; WALKER, P.; MILLAR, R. Differences in students' perceptions of leaning physics. *Physics Education*, London, v. 31, n. 1, p. 43-48, 1996.

RAMSDEN, P. *et al.* Phenomenographic Research & the Measurement of Understanding: an Investigation of Students' Conceptions of Speed, Distance & Time. *International Journal of Educational Research*, Oxford, v.19, p. 301-316, 1993.

RAMSDEN, P. *Learning to teach in higher education*. London: Routledge Falmer, 2003.

RAMSDEN, P. *Learning to teach in higher education*. London: Routledge, 1998.

RAMSDEN, P. Improving teaching & learning in higher education: the case for a relational perspective. *Studies in Higher Education*, Dorchester on Thames, v. 12, n. 3, p. 275-286, 1987.

REBELLO, Y.C.P. *A Conceção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo: Zigurate, 2000.

REBELLO, Y.C.P. *Uma Proposta de Ensino da Conceção Estrutural*. 1999. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

REBELLO, Y.C.P. *Contribuição ao ensino de estrutura nas Escolas de Arquitetura*. 1992. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 1993.

REED, B. *Keynote address: Phenomenography as a way to research the understanding by students of technical concepts*. São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (NUTAU): Technological Innovation & Sustainability, 2006. Paper presented.

REED, B. *et al.* Learners' Conceptions of Technology. In: BIENNIAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR RESEARCH ON LEARNING & INSTRUCTION: Integrating Multiple Perspectives on Effective Learning Environments, 11th, 2005, Cyprus. Paper presented.

REEVES, T.C.; LAFFEY, J.M. Design, Assessment, & Evaluation of a Problem-based Learning Environment in Undergraduate Engineering. *Higher Education Research & Development*, New Zealand, v. 18, n. 2, p. 219-232, 1999.

RICHARDSON, J. Using questionnaires to evaluate student learning: some health warnings, In: GIBBS, Graham (Ed.) *Improving student learning: theory & practice*. Oxford: OCSA, 1994.

RICHARDSON, V. *Constructivist teacher education: building new understandings*. London: Falmer, 1997.

ROBSON, C. *Real World Research: a resource for social scientists & practitioner-researchers*. 2nd ed. Oxford: Blackwell, 2002.

ROBSON, C. *Real world research: a resource for social scientists & practitioner-researchers*. Oxford: Blackwell, 1993.

ROGOFF, B. Observing sociocultural activity on three planes: participatory appropriation, guided participation, & apprenticeship. In: JAMES, V.; WERTSCH, P. R.; ALVAREZ, A. (Ed.). *Sociocultural studies of mind*. Learning in doing: social, cognitive & computational perspectives. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p.139-164.

ROHE, Mies van der. *Die Kunst der Struktur*. Zürich: Verlag für Architektur Artemis, 1972.

ROHRS, H. M. M. The quarterly review of comparative Education, *UNESCO: International Bureau of Education*, Paris, v. 24, n. 1/2, p. 169-180, 1994.

ROSA, J.G. *Grande Sertão: Veredas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1956.

SALJO, R. Minding action – Conceiving of the world versus participating in cultural practices. In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on Phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996.

SALJO, R. Learning in educational setting: Method of inquiry. In: RAMSDEN, Paul (Ed.). *Improving learning: New perspectives*. London: Kogan, 1988. p. 32-48.

SALJO, R. Learning about learning. *Higher Education*, Washington, v. 8, p. 443-451, 1979.

SALJO, R.; WYNDHAMN, J. Problem-Solving, academic performance & situated reasoning. a study of joint cognitive activity in the formal setting. *British Journal of Educational Psychology*, Leicester, v. 60, p. 245-254, 1990.

SALVADORI, M.; HELLER, R. *Estructuras para Arquitectos*. New Jersey: Prentice-Hall, 1967.

SANDBERG, J. Are Phenomenographic results reliable? In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on Phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996.

SANTANA, G. *O engenheiro da poesia*. Disponível em:
<<http://www.joaquimcardozo.com/paginas/joaquim/depoimentos/engenheiro.htm>>. Acesso em: 10 maio 2010.

SANTOS, J. A. *Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos qualitativos na engenharia de estruturas*. 1983. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1983.

SANTOS, J. L. Telles dos. *As Estruturas na Arquitetura*. 1985. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

SARAMAGO, R.C.P. *Ensino de Estruturas nas Escolas de Arquitetura do Brasil*. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

SAVIANI, D. *Educação: do senso comum à consciência filosófica*. São Paulo: Cortez, 1996.

SAVIANI, D. *Escola e Democracia*. São Paulo: Cortez, 1985.

SAVIN, M. *Problem-based learning from the student's perspective*. 1989. MA Dissertation - University of London, Institute of Education.

SAVIN-BADEN, M. Understanding the impact of assessment on students in problem-based learning. *Innovation in Education & Teaching International*, Brighton, v. 41, n. 2, p.223-233, 2004.

SAVIN-BADEN, M. *Facilitating Problem-Based Learning: illuminating perspectives*. London: Open University Press, McGraw-Hill Education, 2003b.

SAVIN-BADEN, M. PBL Disciplinary differences or modes of curriculum practice? *Biochemistry & Molecular Biology Education*, New York, v. 31, n. 5, p.338-343, 2003a.

SAVIN-BADEN, M. *Problem-based Learning: a catalyst for enabling & disabling disjunction prompting transitions in leaner stances?* 1996. PhD Thesis, University of London, Institute of Education.

SCHMIDT, H.G. Problem-based learning: rationale & description. *Medical Education*, Chicago, v. 17, p. 11-16, 1983.

SCHÖN, D. A. *Educating the reflective practitioner*. London: Jossey-Bass, 1987.

SCHÖN, D. A. *The Reflective practitioner: how professionals think in action*. London: Cambridge, 1983.

SCHWARK, M. P. *Sugestões para um Curso Intuitivo de Teoria das Estruturas*. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SEWARD, D. *Understanding Structures: analysis, materials, design*. London: Palgrave, 1998.

SILVA, D. M.; SOUTO, A. K. *Estruturas: uma abordagem arquitetônica*. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

SMITH, N.J. A New university-industry partnership: the M.Eng. International Corporate Leadership Programme. *Civil & Structural Engineering Education*, v. 15, p.679-686, 2000.

SPENCER-CHAPMAN, N.F. Problem-based Learning in Civil Engineering Education - A Bridge Too Far? *Civil & Structural Engineering Education*, v. 15, p. 229-240, 2000.

THIJS, G.D. Evaluation of an Introductory Course on “Force” Considering Students’ Preconceptions. *Science Education*, Salem, v. 76, n. 2, p. 155-174, 1992.

TIMOSHENKO, S.P.; GERE, J.M. *Mechanics of Materials*. London: Van Nostrand, 1972.

TORROJA, E. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Translated by J.J. Polivka & Milos Polivka. Madrid: MAG. English version: Philosophy of Structures, 1960.

TRIGWELL, K. Phenomenography: an approach to research into geography education. *Journal of Geography in Higher Education*, Washington, v. 30, n. 2, p. 367-372, 2006.

TRIGWELL, K.; PROSSER, M. Congruence between intention & strategy in science teachers' approach to teaching. *Higher Education*, Washington, v. 32, p.77-87, 1996.

TRIGWELL, K.; PROSSER, M.; TAYLOR, P. Qualitative differences in approaches to teaching first year university science. *Higher Education*, Washington, v. 27, p.75-84, 1994.

TRIGWELL, K.; PROSSER, M.; WATERHOUSE, F. Relations between Teachers' approaches to teaching & students' approaches to learning. *Higher Education*, Washington, v. 37, p. 57-70, 1999.

UEL. *Sistemas estruturais*. 2007. Disponível em: <http://www.uel.br/cce/mat/geometrica/php/tru/tru_1t.php>. Acesso em: 9 jul. 2015.

ULJENS, M. On the philosophical foundations of phenomenography. In: DALL'ALBA, G.; HASSELGREN, B. (Ed.). *Reflections on phenomenography: toward a methodology?* Goteborg, Sweden: Acta Universitatis Gothoburgensis, 1996.

VAN ROSSUM, E.J.; SCHENK, S.M. The relationship between learning conception, study strategy & learning outcomes. *British Journal of Education Psychology*, Leicester, v. 54, p. 73-83. (1984)

VASCONCELOS, A.C. *Estruturas da Natureza: um estudo da interface entre biologia e engenharia*. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

VERGNAUD, G. Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, Bern, v. 55, n. 2/3, p. 112-118, 1996.

VERGNAUD, G. Multiplicative conceptual field: what & why? In: HAREL, G.; CONFREY, J. (Ed.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany: State University of New York Press. 1994. p. 41-61.

VERGNAUD, G. Multiplicative structures. In: HIEBERT, H.; BEHR, M. (Ed.). *Research Agenda in Mathematics Education*. Number Concepts & Operations in the Middle Grade. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1988. p. 141-161.

VERGNAUD, G. Multiplicative structures. In: LESH, R. & LANDAU, M. (Ed.). *Acquisition of mathematics concepts & process*. New York: Academic Press, 1983. p. 127-174.

VIIRI, J. Teaching the Force Concept: A Constructivist Teaching Experiment in Engineering Education. *European Journal of Engineering Education*, Oxfordshire, v. 21, p. 55-63, 1996.

VYGOTSKY, L.S. *Mind in Society*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

WEBB, G. Deconstructing deep & surface: Towards a critique of phenomenography. *Higher Education*, Washington, v. 33, p. 195-212, 1997.

YIN, R.K. *Case Study Research - Design & Methods*. London: Sage, 1994.

ZAJCHOWSKI, R.; MARTIN, J. Difference in the problem-solving of strong & weaker novices in physics: knowledge, strategies, or knowledge structure?. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v.30, n. 5, p. 459-470, 1993.

ZANI, A. C. *Arquitetura de Madeira - reconhecimento de uma cultura arquitetônica Norte Paranaense*. 1998. 354 fls. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) -Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 1998.

ZENI, J. A Guide to Ethical Decision Making for Insider Research. In:_____. *Ethical Issues in Practitioner Research*. New York: Teachers College Press, 2001. p. 153-165.

APÊNDICES

TRA 2 - TABELA DO RESULTADO DO APRENDIZADO:**FORMULARIO DO ESTUDANTE**

Turma:

Nome:

Sistema da minha Equipe:

Data:

Sistema a ser descrito aqui:

Tempo: de 20' a 30' (minutos)

Leia este instrumento na sua integridade antes de iniciar o seu preenchimento.

SISTEMA	PBP	Para ser preenchido	
1 Sistema Estrutural	Descrever o sistema no contexto real	Descrever: da onde vem o sistema?	Fazer um croqui da perspectiva
2 Elemento Estrutural	Selecione ...	Descrever: especifique as particularidades do elemento apenas.	
3 Características do elemento	Teorização (livros, sites, teses, revistas técnicas, etc.) generalizando e relacionando (prática de construção, técnicos, engenheiros e arquitetos)	Descrever:	Desenhar:
Tipo de Material Estrutural		Descrever:	
Comportamento Estrutural		Descrever:	
Mecanismo		Desenhar:	Descrever:
Equilíbrio		Desenhar:	Descrever:

4 projetando protótipo Aplicar conhecimentos teóricos-conceitos	Croqui de um protótipo suportando o peso de uma pessoa	Selecionar e explicar o principal conceito para aplicar neste projeto:	
Definir e Desenhar		Descrever:	Desenhar:
Croqui do Protótipo medidas aproximadas		Desenhar e Descrever: Longitudinal Transversal Horizontal	
Mecanismo		Desenhar:	
Plano da execução		Descrever:	
5 construindo protótipo principais componentes	Descreva os elementos	Descrever:	
Técnica e ferramentas	Construir	Indicar:	
Teste e avaliação	Alavanca	Subindo em cima:	
	Avaliar	Descrever:	

Fonte: o autor

TED - Tabela Estudo Dirigido: Data:

Nome:

Turma:

Assunto:

Equipe:

Complete os quadros abaixo 'recortando' as citações dos livros, transcrevendo assim fielmente a definição de cada autor sobre o assunto a ser estudado. Encontre e **transcreva** as definições e conceitos dos principais elementos estruturais do corrente sistema de dois ou três autores nos quadros abaixo.

Autor 1:	Autor 2:	Autor 3:

Compare as definições de cada autor no contexto do assunto em pauta, separando as que:

Coincidem:	Divergem:

<p>Descreva de forma resumida os principais conceitos de acordo com os autores acima:</p>	<p>Elabore um mapa conceitual (diagrama) sintetizando os principais conceitos e definições do sistema em estudo:</p>
<p>Dê sua própria definição/conceito sobre o assunto:</p>	<p>Desenhe de forma esquemática em corte ou perspectiva uma obra que contenham os sistemas em foco:</p>
<p>Descreva com suas próprias palavras o que significou para você elaborar este estudo dirigido: dúvidas e sugestões: o que ainda não entendeu e o que sugere fazer para facilitar este aprendizado. Descreva também, o que descobriu de novo e o que já sabia e confirmou lendo nos livros ou pesquisando em outras fontes.</p>	

TPS1 - TABELA DO PROTÓTIPO E SEMINÁRIO

Nome:

Sistema da equipe:

Data:

Leia este instrumento na sua integridade antes de iniciar o seu preenchimento.

Você não é obrigado(a) a preencher todos os quadros – faça o que for possível para você dentro do tempo determinado pelo professor.

Habilidades: observar, diferenciar e perceber a edificação com o sistema estrutural da equipe (o problema de estudo): visão global;

Situação-problema, desafio: construir o protótipo.

Das duas obras a serem observadas – situação a ser problematizada:

Identificar e localizar duas obras (edificações) que contenham o sistema da equipe:	Fazer um desenho de uma das obras:
Justificar a escolha dessas edificações:	
Descrever um elemento estrutural importante de uma das obras acima:	Desenhar o elemento estrutural descrito ao lado:

Fonte: o autor

Obs.: isso deve ser feito, procurando com os colegas e com a ajuda do professor, obras que possam conter o sistema da equipe;

Nota: aqui você tem que investigar pra valer essa nova realidade das edificações que contem ESTRUTURAS; nosso problema é **(TPS 1)** investigar e descobri-las, (TPS2) selecionar os principais elementos, (TPS3) estudar e analisar como funciona, (TPS4) projetar um protótipo e (TPS5) encontrar meios de construir o protótipo.

TPS3 - TABELA DO PROTÓTIPO E SEMINÁRIO

Nome: _____ Sistema da equipe: _____

Data: _____

Leia este instrumento na sua integridade antes de iniciar o seu preenchimento.

Você não é obrigado a preencher todos os quadros – faça o que for possível para você dentro do tempo determinado pelo professor.

Habilidades: ler e interpretar os livros textos; abstrair e generalizar os conceitos de estruturas.

Do elemento estrutural a ser investigado/analísado presente nas duas obras:

Isso pode ser feito estudando a teoria e entrevistando o Estruturista e o Arquiteto.

Descrever as características do elemento estrutural:	Desenhar as características do elemento estrutural:
Indicar o tipo de Material Estrutural utilizado nas obras investigadas pela equipe: Nome: _____ origem: _____ resistência: _____ Nome: _____ origem: _____ resistência: _____ Nome: _____ origem: _____ resistência: _____	
Comportamento Estrutural – indicar que tipo de força pode atuar no sistema:	Desenhar:

Desenhar parte da estrutura indicando como ocorre o equilíbrio externo:	Explicar como ocorre este equilíbrio externo:
Desenhar parte da estrutura indicando como ocorre o equilíbrio interno:	Explicar como ocorre este equilíbrio interno:

Obs.: isso deve ser feito discutindo com o professor o aspectos relevantes da teoria lida nos livros referentes ao TED2;

Do protótipo do pátio a ser observado e correlacionado com o estudo teórico: isso pode ser feito discutindo com os colegas e o professor os fundamentos dos livros.

Descrever as características físicas e geométricas:	Desenhar o protótipo que você imagina representar melhor o sistema estrutural da sua equipe:
--	---

Indicar o tipo de Material Estrutural que pode-se utilizar:	Relacione que tipo de características físicas do material são requeridas:
Equilíbrio externo: indicar que tipo de força externa este modelo resiste	Fazer um desenho indicando a geometria do modelo com as forças externas atuando:
Equilíbrio interno: indicar como a força externa se relaciona com os esforços internos?	Fazer um esquema que represente este equilíbrio:
Mecanismo: indicar que tipo de mecanismo interno pode ser observado no modelo?	Fazer um esboço que represente este mecanismo:

Fonte: o autor

Obs.: isso deve ser feito discutindo com os colegas e com o professor os fundamentos da teoria lida nos livros texto;

Nota: nosso problema relativo às ESTRUTURAS é (TPS1) investigar e descobri-las, (TPS2) selecionar os principais elementos, **(TPS3)** estudar e analisar como funciona, (TPS4) projetar um protótipo e (TPS5) encontrar meios de construir o protótipo.

TPS5 - TABELA DO PROTÓTIPO E SEMINÁRIO

Nome:

Sistema da equipe:

Data:

Leia este instrumento na sua integridade antes de iniciar o seu preenchimento.

Você não é obrigado a preencher todos os quadros – faça o que for possível para você dentro do tempo determinado pelo professor.

Habilidades: aplicar os conceitos, construindo o protótipo.

Construção do protótipo:

Descrever os principais componentes:	Desenhar o protótipo indicando os principais elementos:
Descrever as técnicas e ferramentas utilizadas:	Desenhar detalhe mais importante na construção:

Testar o protótipo com o seu (do aluno) próprio peso: relatar sensações e observações

Avaliar o protótipo destacando os pontos negativos e positivos:

Fonte: o autor

Obs.: isso deve ser feito discutindo com os colegas e o professor o aspectos relevantes de tudo que foi observado e estuda até aqui!

Nota: nosso problema relativo às ESTRUTURAS é (TPS1) investigar e descobri-las, (TPS2) selecionar os principais elementos, (TPS3) estudar e analisar como funciona, (TPS4) projetar um protótipo e **(TPS5)** encontrar meios de construir o protótipo.

PLANO DE CURSO

Centro: DE TECNOLOGIA E URBANISMO	ANO LETIVO
Departamento: DE ESTRUTURAS	2012

CÓDIGO	NOME
5TRU025	SISTEMAS ESTRUTURAIS TURMA 1000

CURSO	SÉRIE
ARQUITETURA E URBANISMO	2ª

CARGA HORÁRIA				SEM. DE OFERTA	HABILITAÇÃO(ÕES)
T 60	P -	TOTAL 60	☐ ANUAL ☒ SEMESTRAL	1º ☐ 2º ☒ X	ARQUITETURA E URBANISMO

*1 - EMENTA

Morfologia das estruturas. Sistemas de cabo e arco. Sistemas treliçados. Sistemas de vigas, pórticos, grelhas e placas. Sistemas de cascas. Sistemas verticais. Identificação de sistemas em edificações.

2 - OBJETIVO(S)

Capacitar o aluno a perceber e utilizar os diversos sistemas estruturais existentes através do cinco elemento estruturais básicos, bem como entender sua interferência com o projeto arquitetônico.

***3 - CONTEÚDO PROGRAMÁTICO**

1. Morfologia das Estruturas e Sistemas

- 1.1. Importância do conhecimento de estruturas
- 1.2. Necessidade das estruturas
- 1.3. Função de uma estrutura
- 1.4. Tipos de sistemas
- 1.5. Formas de transmissão de esforços
- 1.6. Forma das estruturas
- 1.7. Otimização das estruturas
- 1.8. Fases de um projeto estrutural

2. Sistemas de Forma Ativa: Cabos e Arcos

- 2.1. Conceitos
- 2.2. Relação entre direção dos esforços e forma estrutural
- 2.3. Mecanismo de sustentação
- 2.4. Formas geométricas
- 2.5. Influência da flecha
- 2.6. Deformações críticas nos cabos
- 2.7. Sistemas de ancoragem na extremidade de cabos
- 2.8. Sistemas de estabilização de cabos pelo peso
- 2.9. Sistemas de estabilização com cabos de curvatura oposta
- 2.10. Análise comparativa arco x cabo
- 2.11. Sistemas de ancoragem de arcos

3. Sistemas de Vetor Ativo: Trelaçados

- 3.1. Definições e conceitos
- 3.2. Mecanismo e ligações
- 3.3. Materiais utilizados
- 3.4. Trelaçados planas
- 3.5. Arcos, pórticos e cúpulas trelaçadas
- 3.6. Trelaçados espaciais

4. Sistemas Estruturais de Superfície Ativa: Cascas

- 4.1. Conceitos
- 4.2. Histórico
- 4.3. Características geométricas
- 4.4. Classificação
- 4.5. Tipos de cascas

- 4.6. Casca cilíndricas
 - 4.6.1. Elementos principais
 - 4.6.2. Ação portante
 - 4.6.3. Esforços de membrana
 - 4.6.4. Influência da curvatura transversal
 - 4.6.5. Enrijecedores de borda
- 4.7. Cúpulas
 - 4.7.1. Tensões de membrana
 - 4.7.2. Ação portante de uma cúpula esférica
 - 4.7.3. Equilíbrio estático
 - 4.7.4. Perturbações de borda
- 4.8. Parabolóides hiperbólicos
 - 4.8.1. Geometria
 - 4.8.2. Esforços
 - 4.8.3. Possibilidades de projeto

5. Sistemas Estruturais de Massa Ativa: Vigas, Pórticos, Grelhas e Placas

- 5.1. Conceitos
- 5.2. Vigas
 - 5.2.1. Mecanismo resistente
 - 5.2.2. Influência de um balanço
 - 5.2.3. Influência das condições de apoio
 - 5.2.4. Vigas contínuas
 - 5.2.5. Otimização de Vigas
- 5.3. Pórticos
 - 5.3.1. Resistência a esforços verticais
 - 5.3.2. Resistência a esforços laterais
 - 5.3.3. Pórticos Viareendel
- 5.4. Grelhas
 - 5.4.1. Rigidez de uma viga
 - 5.4.2. Sistema de vigas paralelas
 - 5.4.3. Influência da geometria em planta
 - 5.4.4. Solução para compensar a desigualdade de vãos
 - 5.4.5. Grelhas oblíquas
- 5.5. Lajes

6. Sistemas Verticais

- 6.1. Conceitos
- 6.2. Sistema de agrupamento de forças verticais
 - 6.2.1. Sistemas reticulares
 - 6.2.2. Sistemas em balanço com núcleo central
 - 6.2.3. Sistemas de vão livre
 - 6.2.4. Sistemas mistos
- 6.3. Sistemas de transmissão de forças laterais
 - 6.3.1. Pórticos rígidos
 - 6.3.2. Treliças
 - 6.3.3. Paredes estruturais
 - 6.3.4. Associações
- 6.4. Sistemas de planta e elevação

7. Identificação dos sistemas em edificações

- 7.1. Escolha de duas edificações contendo cada sistema estrutural
- 7.2. Estudo e discussão das soluções com o projetista
- 7.3. Apresentação dos projetos estruturais das edificações.

4 - PROCEDIMENTOS DE ENSINO

Aulas teóricas e seminários. As aulas serão desenvolvidas no Laboratório de Estruturas, iniciando os alunos na utilização dos modelos físicos de estruturas existentes. Posteriormente, os alunos irão utilizar os modelos nos seminários a serem realizados no final do período e construirão protótipos de cada sistema estrutural estudado.

5 - CRONOGRAMA

Cronogramas de Atividades e Procedimentos de Ensino		
AULA	Datas	Conteúdo
1		<p>Apresentações, Metodologia (PBP), Programa e Sistema de Avaliação;</p> <p>Tabela do Estudo Dirigido (TED): explicando como funciona e para que serve;</p> <p>Tabela de Preparação do Seminário (TPS): apresentação, explicação e exemplo de uso na preparação do seminário;</p> <p>Tabela de Resultado do Aprendizado (TRA): como funciona e exemplo de uso do ano anterior;</p> <p>Montagem das equipes e posterior sorteio dos sistemas de cada equipe: 5 equipes para 5 sistemas;</p> <p>Cópias em diskete e cópias eletrostáticas no Xerox do DCE das tabelas e textos.</p>
2		<p>1ª e 2ª aulas:</p> <p>Aplicação do testes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Porque você escolheu arquitetura? b) Defina o que é viga c) Interprete os 5 Parâmetro Estruturais Básicos <p>Aplicação do TRA para diagnosticar o grau e o nível de conhecimento sobre sistemas estruturais; serão feitas analogias com elementos da natureza (ver livro do Vasconcelos);</p> <p>Equipes: confirmação das equipes com a definição dos Sistemas de cada grupo.</p> <p>Intervalo 15'</p> <p>3ª e 4ª aulas:</p> <p>Sistemas Estruturais: aula expositiva sobre todos os sistemas com ilustração através de transparências e diapositivos(slides);</p> <p>Vídeos e Powerpoint no datashow sobre os seminários ano anterior.</p> <p>Vídeo com depoimento de Eng. e Arq. sobre importância da Estrutura</p> <p>Tutoria: atendimento das equipes e discussão do roteiro da Primeira Etapa do Trabalho (TPS1): apresentação do roteiro e definição do arquiteto referencia da equipe;</p> <p>Visita aos protótipos no pátio do Labtru;</p>
3		<p>As equipes devem se reunir para construir uma VIGA de 3 x 30 cm, com papel sapateiro, cola branca, alfinete cabeça plástico, elástico de dinheiro;</p> <p>Aplicação do teste SPQ que poderá definir o perfil de estudo dos alunos;</p> <p>1ª revisão dos procedimentos básicos relativos ao TPS1, com uma pré-apresentação de 5' por equipe (aquecimento);</p> <p>2ª atendimento das equipes de trabalho e levantamento das dúvidas;</p> <p>3ª atendimento das equipes de trabalho e discussão dos principais tópicos;</p> <p>4ª síntese, discussão e conclusão das atividades do dia.</p> <p>Estudo Dirigido: o material de estudo está no xerox.</p>

4		<p>Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS;</p> <p>1ª e 2ª apresentação pelas equipes da Primeira Etapa do Trabalho (TPS1) em um breve seminário de 15'.</p> <p>3ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho e conclusão das observação e identificação;</p> <p>Seminário e Protótipo (TPS1): identificação do que será estudado; entrega dos itens referentes a equipe e individual.</p> <p>4ª atendimento referente ao TED1.</p>
5		<p>1ª comentário e avaliação do TPS1 e rever com a turma principais tópicos da semana anterior;</p> <p>2ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho e levantamento das dúvidas;</p> <p>3ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho e discussão dos principais tópicos;</p> <p>4ª Estudo Dirigido1 (TED1): conclusão e entrega individual; síntese, discussão e conclusão das atividades do dia.</p>
6		<p>1ª comentários e avaliação do TED1;</p> <p>2ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED;</p> <p>3ª atendimento das equipes de trabalho e conclusão das partes que estão analisando do sistema estrutural;</p> <p>Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS;</p> <p>4ª Seminário e Protótipo (TPS2): pontos chaves do sistema estrutural; entrega dos itens referentes a equipe e individual.</p>
7		<p>1ª 2ª Leitura pelos alunos e discussão individual com os textos do TED;</p> <p>3ª Encenação no pátio e discussão individual com os procedimentos para o TPS</p> <p>4ª Estudo Dirigido2 (TED2): conclusão e entrega individual em 23/06;</p>
8		<p>1ª comentários e avaliação do TED2</p> <p>2ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED;</p> <p>3ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS;</p> <p>4ª Seminário e Protótipo (TPS3): teorização; entrega dos itens referentes a equipe e individual.</p>
9		<p>1ª comentário e avaliação do TPS3 rever com a turma principais tópicos da semana anterior;</p> <p>2ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho e levantamento das dúvidas;</p> <p>3ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho e discussão dos principais tópicos;</p> <p>4ª Estudo Dirigido3 (TED3): conclusão e entrega individual; síntese, discussão e conclusão das atividades do dia.</p>
10		<p>1ª comentários e avaliação do TED3</p> <p>2ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho.</p> <p>3ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho e conclusão da síntese e projeto do protótipo;</p> <p>4ª Seminário e Protótipo (TPS4): hipótese de solução e projeto; entrega dos itens referentes a equipe e individual.</p>

11		1ª comentário e avaliação do TPS4 rever com a turma principais tópicos da semana anterior; 2ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho e levantamento das dúvidas; 3ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho e discussão dos principais tópicos; 4ª Estudo Dirigido 4 (TED4): conclusão e entrega individual; síntese, discussão e conclusão das atividades do dia.
12		1ª comentários e avaliação do TED4 2ª Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; atendimento das equipes de trabalho. 3ª Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho e conclusão das questões relativas ao retorno à realidade; 4ª Seminário e Protótipo (TPS5): construção do protótipo; entrega dos itens referentes a equipe e individual.
13		Comentários e avaliação do TPS5 Encenação no pátio e discussão em sala com os procedimentos para o TPS; atendimento das equipes de trabalho. Leitura pelos alunos e discussão em sala com os textos do TED; Entrega do Estudo Dirigido 5 (TED5).
14		Comentários e avaliação do TED5 Ensaaios das apresentações de seminários – obrigatório para todas as equipes; Atendimento das equipes e preparativos para o seminário.
15		Último dia para entrega do Protótipo e de todo material a ser utilizado no seminário – atendimentos da equipes;
16		Seminários equipes 1 e 2 Verificação do aprendizado sobre os sistemas e sobre as obras dos seminários
17		Seminário equipes 3, 4 e 5 e discussão dos resultados de cada equipe
18		Verificação do aprendizado sobre os sistemas e sobre as obras dos seminários

6 - FORMAS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

TED - Estudo Dirigido com peso 3, TPS - Seminário com peso 4 e TRA - Prova Teórica com peso 3 no final.

***7 - BIBLIOGRAFIA BÁSICA**

1. REBELLO, Y.C.P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura** São Paulo: Zigurate 2003.
2. ENGEL, H. **Sistemas de estruturas**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.
3. SALVADORI & HELLER. **Estructuras para arquitectos**, La Isla, 1978.

***8 - BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

4. ROSENTHAL, H. WERNER – La Estructura Editorial Blume, 1975.
5. TORROJA, EDUARDO – Razón y Ser de los Tipos Structurales – Madrid, 1978.
6. SILVA, D. M.; SOUTO, A. K. **Estruturas: uma abordagem arquitetônica**. 2.ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.
7. VASCONCELOS, A. C. **Estruturas arquitetônicas**. São Paulo: Studio Nobel, 1991.

Professor responsável pelo plano
Nome: **Cesar Ballarotti**
Chapa: **0301877**

Aprovado pelo Depto. em ____/____/____

Aprovado pelo Colegiado em ____/____/____

Assinatura do Chefe do Departamento

Assinatura do Coord. do Colegiado

** Itens correspondentes ao programa oficial a ser cadastrado na PROGRAD (antiga CAE).*