

AMANDA AMANTES NEIVA RIBEIRO

**O ENTENDIMENTO DE ESTUDANTES
DO ENSINO MÉDIO SOBRE
SISTEMA DE REFERÊNCIA
E MOVIMENTO RELATIVO**

**BELO HORIZONTE
FACULDADE DE EDUCAÇÃO DA UFMG
2005**

AMANDA AMANTES NEIVA RIBEIRO

**O ENTENDIMENTO DE ESTUDANTES DO
ENSINO MÉDIO SOBRE SISTEMA DE
REFERÊNCIA E MOVIMENTO RELATIVO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de Pesquisa: espaços educativos, produção e apropriação de conhecimentos.

Orientador: Prof. Dr. Oto Borges

**BELO HORIZONTE
FACULDADE DE EDUCAÇÃO DA UFMG
2005**

Dedicatória

Dedico esse trabalho às pessoas que amo.

Elas foram fundamentais para que eu conseguisse passar por mais essa etapa. Estiveram presentes em todos os momentos, me dando o suporte necessário para superar as adversidades que encontrei. O emocional é o fator que nos motiva; sem o carinho e afeto dos que estiveram sempre comigo, esse trabalho certamente não teria sido possível.

Obrigada minha mãe, Marlinda, pelo amor incomensurável; meu marido, Alessandro, pelo apoio e carinho constantes; Tia Ritinha, Armando, José Maurício, Maria Elízia, Vó Eurides e meus amigos, pela presença em todos os momentos.

Agradecimentos

Muitos foram os que colaboraram para meu crescimento, tanto intelectual como humano. Esse foi certamente um trabalho que me proporcionou amadurecimento em muitos aspectos. Amigos, colegas, mestres, foram estímulos importantes para que eu seguisse em frente. Eles me ajudaram a trilhar o caminho que levou à concretização desse trabalho. A eles sou muito grata, pois fazem parte da minha história.

Agradeço ao meu orientador Oto Borges, pela paciência, dedicação e amizade; por ter me proporcionado momentos tão ricos de aprendizagem e por saber lidar de maneira tão produtiva com minhas falhas. Sua perspicácia e sabedoria foram cruciais para meu desenvolvimento acadêmico.

Agradeço aos amigos do grupo de estudo, peças-chave na minha formação: Carmem, Eliane, Cristiano, Inês, Maria Luiza, Beth e Marciana. Em especial à Jordelina (Jô), cujo apoio foi essencial para a qualidade dessa dissertação. Agradeço aos amigos do Coltec, que contribuíram enormemente para meu crescimento com as trocas de experiência.

Agradeço aos mestres, pelo conhecimento adquirido; aos colegas Júdice e Villani, pelas conversas informais; à Lucíola pelos momentos de lazer e pelas dicas acadêmicas; à Vanuza, minha amiga, cuja ajuda foi imprescindível para a finalização desse trabalho. Agradeço a meu marido, que soube compreender as situações difíceis e me apoiar nos momentos em que mais precisei.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução desse trabalho, o meu eterno agradecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE GRÁFICOS	7
LISTA DE TABELAS.....	8
RESUMO	9
1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	10
1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 RELEVÂNCIA.....	11
1.3 CONCEITOS ABORDADOS.....	13
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	15
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	17
2.1 SABER DIZER X SABER FAZER.....	18
2.2 UMA TEORIA ESTRUTURAL COGNITIVA	20
2.3 TEORIA DE RESPOSTA AO ITEM (ITEM RESPONSE THEORY) – IRT	30
2.3.1 IRT - O que é?	31
2.3.2 Proficiência	32
2.3.2.1 <i>Estimação da proficiência</i>	33
2.3.2.2 <i>Invariância da Proficiência</i>	35
2.3.3 Pressupostos teóricos da IRT	35
2.3.3.1 <i>Unidimensionalidade</i>	35
2.3.3.2 <i>Independência Local</i>	36
2.3.4 Modelos da IRT	36
2.3.4.1 <i>Modelo Rasch ou logístico de um parâmetro</i>	37
2.3.4.2 <i>Modelo Logístico de 2 parâmetros</i>	38
2.3.4.3 <i>Modelo Logístico de três parâmetros</i>	40
2.3.5 Os parâmetros da IRT	41
2.3.5.1 <i>Estimação dos parâmetros</i>	41
2.3.5.2 <i>Invariância dos Parâmetros</i>	42
2.3.6 Vantagens da IRT.....	44
3 METODOLOGIA	46
3.1 HIPÓTESES.....	46
3.2 OBJETIVOS.....	47
3.2.1 Objetivo Geral	48
3.2.2 Objetivos Específicos.....	48
3.3 DESENHO METODOLÓGICO	48
3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA.....	50
3.5 SUJEITOS DA PESQUISA E SITUAÇÃO DE ENSINO.....	52

3.6	MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS	54
4	ANÁLISE	57
4.1	DECISÕES METODOLÓGICAS	57
4.1.1	Utilização da Proficiência	58
4.1.1.1	Proficiência X Escore	58
4.1.1.2	Viés do Teste	59
4.1.1.2.1	Índice de discriminação (parâmetro <i>a</i>)	60
4.1.1.2.2	Índice de dificuldade (parâmetro <i>b</i>)	64
4.1.1.2.3	Índice de acerto “ao acaso” (parâmetro <i>c</i>)	67
4.1.1.3	Considerações	70
4.1.2	Definição do Modelo Estatístico Utilizado	71
4.2	ANÁLISE QUALITATIVA	74
4.2.1	Categorias de Explicitação	74
4.2.1.1	Para a questão 1a, sobre Sistema de Referência	75
4.2.1.1.1	Explícitas	75
4.2.1.1.2	Parcialmente explícitas	76
4.2.1.1.3	Não explícitas	78
4.2.1.2	Para a questão 1b, sobre Movimento Relativo	78
4.2.1.2.1	Explícitas	78
4.2.1.2.2	Parcialmente Explícitas	79
4.2.1.2.3	Não explícitas	80
4.2.2	Categorias da Taxonomia Solo	80
4.2.2.1	Para a questão 1a, sobre Sistema de Referência	81
4.2.2.1.1	Modo Concreto	81
4.2.2.1.2	Modo formal	82
4.2.2.2	Para a questão 1b, sobre Movimento Relativo	83
4.2.2.2.1	Modo concreto	83
4.2.2.2.2	Modo Formal	84
4.2.3	Categorias de Explicitação X Taxonomia SOLO	85
4.2.4	Validação das Categorias	87
4.3	ANÁLISE QUANTITATIVA	88
4.3.1	Testes estatísticos	89
4.3.1.1	Teste de Hipóteses	90
4.3.1.2	Teste ANOVA	91
4.3.1.3	Teste de Associação	92
4.3.2	Os estudantes sabem mais do que conseguem dizer?	94
4.3.2.1	Os alunos conseguem fazer mais do que dizer	95
4.3.2.2	Saber explicitar é um indício de que o entendimento está mais fortemente consolidado	100
4.3.2.3	O saber explicitar como indício do pensamento formal	103

4.3.2.4	<i>Discussões dos resultados da primeira parte</i>	107
4.3.3	O amadurecimento influencia no entendimento?	108
4.3.3.1	<i>A relação entre o nível de entendimento e a série</i>	108
4.3.3.2	<i>A relação entre o nível de explicitação e a série</i>	110
4.3.3.3	<i>A relação entre o nível de explicitação e o entendimento de acordo com a série</i>	113
4.3.3.4	<i>A série e o nível de formalização do pensamento</i>	117
4.3.3.5	<i>Discussão dos resultados da segunda parte</i>	120
5	CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES	122
5.1	IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA ACADÊMICA	125
5.2	IMPLICAÇÕES PARA CONDUTAS NA SALA DE AULA	126
6	BIBLIOGRAFIA	128
7	APÊNDICE	134
7.1	QUESTIONÁRIO APLICADO	134
7.2	EXPLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE ESTIMAÇÃO DA PROFICIÊNCIA	136

LISTA DE GRÁFICOS

1- Curva Característica do Item – CCI.....	32
2- Três Curvas Características do Item referentes a três itens com a mesma discriminação, mas parâmetros de dificuldades diferentes.....	38
3- Três Curvas Características do Item com o mesmo parâmetro de dificuldade, mas com índices de discriminação diferentes.....	39
4- Três CCI's com índices de acerto ao acaso distintos.....	41
5- Grupo de baixa habilidade.....	43
6- Grupo de alta habilidade.....	43
7- Grupos de baixa e alta habilidade na mesma CCI.....	43
8- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 1ª Série e Todas as séries.....	61
9- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 2ª Série e Todas as séries.....	61
10- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 3ª Série e Todas as séries.....	62
11- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 1ª Série e 3ª Série.....	63
12- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 1ª Série e 2ª Série.....	63
13- Parâmetro de discriminação para os Grupos: 2ª Série e 3ª Série.....	64
14- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 1ª Série e Todas as séries.....	64
15- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 2ª Série e Todas as séries.....	65
16- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 3ª Série e Todas as séries.....	65
17- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 1ª Série e 2ª Série.....	66
18- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 1ª Série e 3ª Série.....	66
19- Parâmetro de dificuldade para os Grupos: 2ª Série e 3ª Série.....	67
20- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 1ª Série e Todas as séries.....	67
21- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 2ª Série e Todas as séries.....	68
22- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 3ª Série e Todas as séries.....	68
23- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 1ª Série e 2ª Série.....	69
24- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 1ª Série e 3ª Série.....	69
25- Parâmetro de acerto ao acaso para os Grupos: 2ª Série e 3ª Série.....	70
26- Média das categorias de proficiência.....	97
27- Proficiência X Categorias de Explicitação – questão 1a.....	98
28- Proficiência X Categorias de Explicitação – questão 1b.....	99
29- Porcentagem dos alunos de alta, média e baixa proficiência de acordo com o nível de explicitação da Questão 1a.....	101
30- Porcentagem dos alunos de alta, média e baixa proficiência de acordo com o nível de explicitação da Questão 1b.....	101
31- Frequência dos grupos de proficiência em cada série.....	109
32- Frequência dos modos de pensamento segundo a série - questão 1a	118
33- Categorias SOLO X Série - questão 1a	118
34- Frequência dos modos de pensamento segundo a série - questão 1b	119
35- Categorias SOLO X Série - questão 1b	119

LISTA DE TABELAS

1 - Número de alunos por série.....	53
2 - Diferenças entre Categoria de Explicitação e Categoria Solo sobre o Sistema de Referência.....	86
3 - Diferenças entre Categoria de Explicitação e Categoria Solo sobre o Movimento Relativo.....	86
4 - Frequência de alunos nas categorias de explicitação nas questões 1a e 1b.....	96
5 - Frequência de alunos nos grupos de proficiência.....	96
6 - Proficiência X Categorias de Explicitação – Sistema de Referência.....	98
7 - Proficiência X Categorias de Explicitação – Movimento Relativo.....	99
8 - Frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO.....	103
9 - Frequência das respostas das questões 1a e 1b de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada.....	104
10 - Relação entre a frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada e do nível de explicitação da questão 1a	105
11 - Relação entre a frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada e do nível de explicitação da questão 1b.....	106
12 - Categorias de Proficiência de acordo com a Série.....	109
13 - Série de acordo com o nível de explicitação na questão 1a	111
14 - Série de acordo com o nível de explicitação na questão 1b	112
15 - Relação entre série, categorias de proficiência e categorias de explicitação da questão 1a.....	114
16 - Relação entre série, categorias de proficiência e categorias de explicitação da questão 1b.....	116

RESUMO

A pesquisa relatada se refere ao entendimento de alunos do ensino médio a respeito de dois conceitos: Movimento Relativo e Sistema de Referência. O objetivo principal é se deter nos aspectos inerentes à aprendizagem de conceitos mais teóricos, com os quais lida a Ciência em geral.

Partindo do pressuposto que os alunos sabem fazer mais do que dizer, investigamos o entendimento dos mesmos em termos de performances específicas na solução de problemas e em termos da capacidade em explicitar a concepção.

Constatamos que os estudantes em geral conseguem lidar facilmente com os conceitos abordados quando resolvem questões de interpretação, mas têm menos sucesso quando solicitados a verbalizar seu entendimento. Interpretamos nossos dados usando o modelo SOLO, de inspiração neo-piagetiana, através do qual categorizamos as respostas dos estudantes. Nossos resultados apontam que o pensamento da maioria dos alunos se encontra no patamar concreto, sendo que poucos atingiram uma concepção sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência próxima da científica (nível formal).

Verificamos também que os alunos em contato com o tema em diferentes fases do Ensino Médio demonstraram um entendimento mais consistente, em termos de habilidades, além de terem maior expressividade no patamar formal de pensamento. Esse resultado sugere que abordagens curriculares recursivas podem ajudar a entender conceitos mais teóricos e elusivos.

1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

1.1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação se refere a uma pesquisa sobre o entendimento de estudantes do Ensino Médio a respeito dos conceitos: Movimento Relativo e Sistema de Referência.

A intenção é investigar os fatores que influenciam na aprendizagem de conceitos mais abstratos, que não têm representação imediata na realidade concreta. Nesse aspecto, o entendimento é tomado como performances específicas na solução de problemas para os quais esses conceitos abstratos devem ser mobilizados, e também como capacidade de expor a concepção.

Assim, identificamos o entendimento dos alunos sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência em duas situações: quando resolveram problemas relacionados a esses conceitos e quando foram solicitados a explicitar, por escrito, seu entendimento.

A interpretação e análise dos dados foram embasadas na idéia de que a habilidade em lidar com situações problemáticas são fortes indícios de um conhecimento, ao mesmo tempo em que a declaração, verbal ou escrita, pode fornecer pistas do estado de articulação desse conhecimento.

Embora muitas vezes consigamos entender determinados conceitos, nem sempre conseguimos verbalizar nosso entendimento (POLANYI, 1858; POLANYI, 1967; KARMILLOFF-SMITH, 1995; MILLAR e KING, 1993; MILLAR e BEH, 1993). Isso porque lidamos eficazmente com muitos conceitos em termos de performances específicas para resolução de problemas em determinadas situações, sem, no entanto, saber explicitá-los com acuidade. Quando o fazemos, entretanto, nossa concepção se encontra em um nível de formalização superior, que permite articular o conceito de forma mais consistente, dando-lhe um sentido que extrapola seu caráter procedimental.

Esta investigação se deteve nas relações entre o saber dizer, saber fazer e os níveis de formalização do pensamento alcançados por estudantes em relação a conceitos físicos mais abstratos, tomando como pressuposto que um entendimento específico nem sempre é completamente explicitável, e está inserido em um campo conceitual abrangente que se consolida em diversas fases de aprendizagem, em diferentes etapas da vida (MOREIRA,

2002). Portanto, só é possível ter acesso a pistas a respeito do entendimento dos estudantes sobre os conceitos quando o verbalizam. Mas performances específicas, ou seja, a habilidade em lidar com os conceitos operacionalmente, seja em situações práticas ou teóricas, são fortes evidências de um conhecimento que pode ou não estar formalizado (POLANYI, 1958; BIGGS E COLLIS, 1982).

1.2 RELEVÂNCIA

Acreditamos que elucidar aspectos sobre o entendimento de conceitos mais abstratos¹ seja relevante para o Ensino na medida em que verificamos, nas Ciências em geral, a dificuldade em lidar com aprendizagem de conceitos mais teóricos. Qualquer conceito está no âmbito da abstração, mas existem aqueles que não tem representação concreta, pois se apóiam basicamente em construtos teóricos: esses são mais difíceis de serem apreendidos de acordo com a concepção científica. É o que ocorre, por exemplo, com as noções de átomos, moléculas, ligações atômicas, reações químicas, dentre outras na área de Química. Na Biologia, a interpretação de modelos dos componentes celulares e de sistemas em geral (por exemplo, do sistema imunológico, dos ciclos naturais), também requer bastante abstração. Na Física, podemos constatar a necessidade de muita abstração na apreensão de conceitos e fenômenos tais como os relacionados à energia, ao eletromagnetismo, à quantidade de movimento, por exemplo.

De acordo com FERREIRA e VILLANI (2002) *“aprender ciência não é fácil, pois sua linguagem não é a linguagem do senso comum. Os conceitos, mesmo que absorvidos inicialmente por analogias e fazendo ponte com os conceitos primeiros que o indivíduo desenvolveu durante a vida, deverão ser reconstruídos dentro do contexto científico.”* Acreditamos que essa reconstrução é realizada por meio de relações estabelecidas entre esquemas de raciocínios, outros conteúdos e diversos contextos.

Nesse sentido, a capacidade de abstração é essencial para o entendimento de conceitos mais teóricos. Por meio dela conseguimos transpor os conceitos mais tangíveis, mais facilmente observáveis, para um patamar que se distancia da realidade concreta e, por esse processo, estender o significado dos conceitos de maneira a estabelecer relações e

¹ Admitimos que um conceito é mais abstrato quando requer relações mais intensas com outros conteúdos, situações e fenômenos não representados diretamente na realidade perceptível; eles se apóiam essencialmente em construções teóricas, ligadas à representação mental.

ligações com outros conteúdos, esquemas mentais, operações de pensamento. Quanto mais intensas forem essas relações, mais abrangente e consistente se torna o sentido atribuído ao conceito, indicando uma formalização² crescente do pensamento.

A importância da abstração para a construção de conhecimentos não se restringe à dinâmica psicogenética; é também uma característica intrínseca do desenvolvimento das Ciências (PIAGET e GARCIA, 1987; GARCIA, 2002). Em ambos, a progressão no entendimento sobre determinados fenômenos se efetua por meio do rompimento de concepções arraigadas às observações no mundo sensorial, promovendo a capacidade de conceber esses fenômenos de maneira mais ampla em situações hipotéticas, através de raciocínios apoiados em princípios e teorias. É o que ocorre, por exemplo, com a ruptura da concepção dos mundos supra lunar e sub lunar com o advento da Mecânica clássica. Foi preciso que houvesse uma abstração dos fenômenos para que a generalização propiciasse conhecimentos até então inconcebíveis pelo senso comum (VARELA, 1999); a abstração e generalização, portanto, se mostram imprescindíveis para o alcance de conhecimentos mais teóricos.

Sendo o pensamento formal o correspondente ao nível de abstração mais próximo das teorias científicas, ele é alcançado em um processo contínuo de apropriação de novos elementos e ampliação dos construtos teóricos, a partir da integração desses elementos à totalidade do campo conceitual do aprendiz. Nessa perspectiva, o pensamento formal, o processo de abstração e o de generalização estão imbricados de maneira a promover a construção do conhecimento através dos mecanismos endógenos do aprendiz que, interagindo com objetos concretos, abstrai os elementos necessários para efetivar essa construção (PIAGET, 1976).

Podemos dizer, então, que a aprendizagem de conceitos físicos em geral se realiza a partir de abstrações de situações vivenciadas, seguindo em direção a uma formalização do pensamento; as situações passam a ser hipotéticas e o entendimento é substancialmente integrado. O estudante passa por vários mecanismos de reflexões e equilibrações, inserindo o novo conhecimento em seus esquemas de pensamento, integrando o que foi apreendido.

² Entendemos formalização como o grau de abstração compatível com o conhecimento científico. Consideramos formal aquele pensamento que apresenta as mesmas características, em relação ao significado atribuído ao conceito, do pensamento acadêmico cientificamente aceito. Nesse sentido, a formalização aumenta em função do crescimento da intensidade e complexidade no grau de abstração.

Nesse processo de construção, o entendimento sobre um conceito mais teórico não se realiza em uma única oportunidade e de uma única vez (MOREIRA, 2002), pois o campo conceitual progride com a maturidade física e cognitiva (BIGGS e COLLIS, 1982), proporcionando, cada vez mais, elementos para interpretar e entender com mais consistência esses conceitos. O conhecimento se torna mais articulado na medida em que, no decorrer da vida, ele é estendido e ou modificado, dependendo das novas apreensões e dos conflitos cognitivos emergentes.

Acreditamos que, ao investigar os aspectos da construção de um entendimento mais maduro e formalizado de conceitos mais elusivos, podemos contribuir para o Ensino uma vez que estaremos proporcionando elementos para compreender com mais propriedade os obstáculos de aprendizagem relativos a esses conceitos. Essa pesquisa pode promover discussões acerca das dificuldades de compreensão dos estudantes em relação a muitos conteúdos de Ciências, apontando questões e possibilidades para que haja melhoria na aprendizagem e nos modos de ensinar teorias mais abstratas.

1.3 CONCEITOS ABORDADOS

Os conceitos abordados nessa pesquisa, “Referencial Inercial” e “Movimento Relativo”, surgiram de uma sondagem a respeito do entendimento dos estudantes sobre eles, pois tínhamos a intenção de realizar um curso extracurricular sobre Relatividade Restrita. Essa sondagem foi feita para identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre esses conceitos, que faziam parte do conteúdo do curso. A partir de algumas impressões iniciais sobre o resultado dessa sondagem, algumas questões surgiram e acabaram por nortear a pesquisa. Esse assunto se mostrou adequado aos objetivos dessa investigação, pois além de demandarem bastante abstração para serem compreendidos, são retomados em diferentes fases da aprendizagem no Ensino Médio, de maneira direta ou indireta.

Referencial Inercial e Movimento Relativo são conceitos abordados em conteúdos introdutórios de Mecânica, geralmente ensinados na primeira série do Ensino Médio. Embora não sejam explicitamente retomados em outras fases da vida escolar, o aprendiz tem contato com esses conceitos ao longo do Ensino Médio, mesmo que de forma subsidiária, ao estudarem outros conteúdos relacionados à Mecânica. Entretanto, mesmo na abordagem dos movimentos, esses conceitos não se constituem no foco central da aprendizagem.

Historicamente as afirmações do princípio da inércia e da relatividade do movimento surgiram juntas e interligadas, um princípio esclarecendo e sustentando o outro. Essa inter-relação foi essencial para o desenvolvimento da Mecânica (GARCIA, 2002).

Os livros didáticos de Ensino Médio normalmente enunciam o princípio da Relatividade do Movimento, mas são menos claros ao discutir e usar de forma sistemática a idéia de Sistema de Referência. Por exemplo, em FÍSICA vol. 1, um dos livros-texto mais influentes no Ensino Médio, ALVARENGA e MÁXIMO (2000) enunciam claramente o princípio da relatividade do movimento –“o movimento de um corpo, visto por um observador, depende do referencial no qual o observador está situado” (p.46)– mas a noção de referencial é introduzida apenas de forma denotativa e implícita, sem ser enunciada formalmente. O mesmo acontece no volume 1 da coleção elaborada pelo PSSC (1966). O mais paradigmático livro-texto de Física (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 1997) oferece uma formulação explícita do que é Sistema de Referência: “Um sistema de referência é o objeto físico ao qual associamos nosso sistema de coordenadas” (p.59).

Na prática de sala de aula, seja ao exporem o tema, seja ao exporem a solução de exemplos resolvidos ou discutirem as questões de final de capítulo, os professores normalmente utilizam a idéia de referencial fixo em um ponto, ao mesmo tempo em que declaram ser o movimento dependente do referencial adotado, sem muitas elaborações e como se fosse natural. O uso de referenciais fixos em objetos móveis é menos freqüente, ainda que seja usado na solução de certos exercícios. Da mesma forma, não se distingue normalmente os Referenciais Inerciais dos não Inerciais. No livro-texto FÍSICA vol. 1, Alvarenga e Máximo chegam a mencionar a palavra Referencial Inercial no contexto da discussão do conceito de força centrífuga (BORGES e AMANTES, 2003).

Como ressaltam OESTERMAMN e MOREIRA (2001), o tema “Relatividade”, classificado por eles como pertencente aos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, não é ensinado de maneira regular no Ensino Médio, assim como outros temas que não pertencem à Física Clássica. Eles mostram, em sua pesquisa, que esses conteúdos não fazem parte do currículo comumente adotado, tendo pouca expressão, também, nos livros didáticos em geral.

Dessa forma, tanto o conceito de Movimento Relativo como o de Referencial Inercial ficam restritos ao estudo de fenômenos físicos clássicos relacionados à Mecânica. Na abordagem de conteúdos em que são requisitados, percebemos uma tendência de se ter uma melhor explicitação do conceito de Movimento Relativo e acreditamos que isso ocorra por este ser um conceito mais tangível e mais facilmente representável no mundo sensorial. O conceito de Referencial Inercial, por outro lado, é estudado sem que seja completamente explicitado: é subjacente à resolução de exercícios e à exposição de um problema pelo professor, demonstrando um caráter mais abstrato que o outro conceito.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desse relatório de pesquisa foi feita no sentido de possibilitar mais clareza e compreensão em relação aos referenciais teóricos adotados, procedimentos realizados e interpretação dos resultados de acordo com os objetivos a que se propõe a investigação. Assim, teremos os capítulos:

Capítulo I: Introdução

Nesse capítulo é apresentada de forma geral a pesquisa realizada, sendo ressaltados os principais objetivos e a maneira pela qual nosso olhar se dirigiu para a análise e interpretação dos dados.

Capítulo II: Referenciais teóricos

É apresentado o quadro teórico no qual se basearam as hipóteses, condução do trabalho e as interpretações dos resultados. As referências teóricas dizem respeito tanto ao aspecto cognitivo de interpretação como aos métodos de análise dos dados. Dessa forma, são apresentadas teorias que serviram para fundamentar a argumentação da pesquisa, teorias que deram suporte à análise e teorias que auxiliaram na interpretação dos dados e resultados.

Capítulo III: Metodologia de Pesquisa

Nesse capítulo é apresentado o desenho de pesquisa, as hipóteses, questões e objetivos que delinearão a investigação. Também fazem parte desse capítulo as opções e decisões metodológicas tomadas em relação ao tipo de dado coletado e ao seu tratamento.

Nesse aspecto é apresentado um estudo estatístico que norteou nossas decisões ao analisar e interpretar os dados.

Capítulo IV: Análise dos Dados

A análise realizada é descrita no quarto capítulo, o qual é dividido em duas partes: análise qualitativa e quantitativa. Na primeira, é feita uma explicação detalhada da categorização realizada em relação às respostas obtidas com o instrumento de pesquisa, fornecendo, assim, uma visão geral dos dados utilizados na análise quantitativa. Nessa parte são descritas as duas formas de categorização realizadas, bem como as diferenças entre elas. A análise quantitativa se constitui na exposição da análise dos dados obtidos na primeira parte, realizada em termos de teorias estatísticas definidas no capítulo anterior. São descritos também os testes estatísticos utilizados.

Capítulo V: Conclusões e Implicações

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões e implicações dos resultados da pesquisa traduzidas em discussões acerca da repercussão desse trabalho no âmbito acadêmico e no âmbito escolar.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Ao explicitar idéias, usamos muitos conhecimentos que estão além do âmbito do que tentamos verbalizar. Para expressar um simples conceito ou explicar algum fenômeno, por exemplo, nos remetemos a diversas concepções. Nosso conhecimento não se restringe às palavras das quais nos apropriamos para expor uma idéia; pelo contrário, insere-se em um quadro conceitual de proporções mais abrangentes. Não conseguimos colocar em palavras tudo aquilo que sabemos (POLANYI, 1958; POLANYI, 1967).

O conhecimento é um conceito complexo, definido de diferentes formas; muitos autores reconhecem que o mesmo possui naturezas diversas, não sendo limitado a um único processo ou estrutura. Uma forma usual de analisá-lo é empregar dicotomias (ERNEST, 1997), tais como: saber como *versus* saber que (RYLE, 1949), conhecimento procedimental *versus* conhecimento declarativo (HIEBERT, 1986), conhecimento instrumental *versus* conhecimento relacional (SKEMP, 1976), conhecimento tácito *versus* conhecimento explícito (POLANYI, 1958). Entendemos que o termo “conhecimento” abarca muitos significados e admitimos a dificuldade em delimitar a sua abrangência. Assim, admitimos que o entendimento acerca de determinado conceito é realizado por meio de uma gama extensa de processos que envolvem desde ações sensório-motoras até meta-reflexões, no mais alto nível de formalização (BORGES e AMANTES, 2003). Acreditamos ser possível, tendo como referência algumas teorias cognitivas, identificar estágios de entendimento e, dessa maneira, estabelecer algumas relações que possam ser interpretadas para que haja mais clareza a respeito dos mecanismos e processos que levam ao entendimento de conceitos mais abstratos.

Neste capítulo são apresentadas as teorias que utilizamos para interpretação e análise dos dados e resultados. Inicialmente, temos a teoria cognitiva que fundamentou nossa forma de interpretar a natureza dos dados. Ela foi importante para nos fornecer os parâmetros que direcionaram nossa atenção e nosso olhar para as características dos dados. Em seguida, apresentamos a teoria que direcionou uma das formas de categorização das respostas dos estudantes: a teoria *Structure of the Observed Learning Outcome* – SOLO. Nessa seção é apresentada ainda sua Taxonomia, que foi aplicada a essas respostas. Essa teoria foi importante porque nos proporcionou um referencial adequado aos nossos objetivos de investigar os níveis de formalização do pensamento dos estudantes.

Finalmente, a Teoria de Resposta ao Item (*Item Theory Response - IRT*) foi descrita para melhor entendimento da metodologia utilizada. Visto que essa teoria abarca muitos pressupostos, foi essencial que tivéssemos uma seção para apresentá-la com mais precisão, pois a interpretação dos resultados obtidos têm implicações relacionadas à forma de análise dos dados.

2.1 SABER DIZER X SABER FAZER

*“Todo conhecer é fazer e todo fazer é conhecer”*³

Quando praticamos uma ação demonstramos um conhecimento que está implícito no saber fazer. Esse conhecimento muitas vezes não é explicitável (verbalmente ou por escrito), pois está incorporado tacitamente às nossas ações. Desse modo, aprendemos na medida em que lidamos com diferentes situações de distintas maneiras, através de ações inteligentes, mas que não são, necessariamente, pré-elaboradas. Por isso, lidamos facilmente com muitas situações familiares através de atitudes sensatas, mas não refletidas, sendo o nosso conhecimento a respeito dessas situações traduzidos em habilidades.

Esse tipo de conhecimento que está no saber fazer e que não é sempre explicitável se remete à realização de tarefas que mobilizam diferentes formas de pensamento e habilidades, sendo definido por SCHÖN (1987) como conhecer-na-ação⁴; refere-se justamente ao saber agir sem, no entanto, saber explicar como agir.

Para explicitar um pensamento nos valem os conhecimentos que se estendem além do que queremos expor. O que expressamos é somente o ápice de um entendimento que se estende por um vasto campo conceitual. Segundo MOREIRA (2002), Vergnaud define campo conceitual como conjunto de informações (problemas, situações, conceitos, relações, conteúdos, operações de pensamento) dominado pelo sujeito depois de um período de aprendizagem contínua, através de experiência e maturidade. Nesse campo estão inseridos conceitos de diversas naturezas, que mantêm relações entre si (MOREIRA, 2002). Assim, colocamos em palavras menos do que sabemos, pois o que explicitamos é somente uma parte de todos os esquemas de pensamento acionados para concatenar os significados e estabelecer as relações necessárias.

³ MATURANA E VARELA, 1995:68

⁴ Os hífen são usados, para essa expressão, para designar que conhecer é inseparável do agir.

Nesse sentido, admitidos que, dentre as diferentes naturezas do conhecimento, a habilidade em solucionar problemas envolvendo determinados conceitos é um forte indicador do entendimento sobre esses conceitos. Ao saber lidar com situações específicas, que requerem conhecimentos que vão além da simples ação, o estudante mobiliza determinados mecanismos de pensamento envolvendo conceitos mais abstratos, demonstrando que esses conceitos são concebidos em algum nível de entendimento, pois são associados à situação com a qual ele lidou.

MILLAR e KING (1993), ao apresentarem uma pesquisa a respeito do entendimento de estudantes sobre o conceito de voltagem, tomam como evidência desse entendimento suas performances em questões em que os alunos deveriam fazer previsões a problemas propostos. Em outro trabalho, MILLAR e LIM BEH (1993) argumentam a favor de uma definição mais operacional do que seja conhecimento, pois adiantam um argumento instrumentalista forte de que não existe *“uma coisa tal como ‘entendimento de voltagem’ a não ser enquanto a habilidade de fazer previsões corretas em situações nas quais (aquilo que os cientistas denominam de) voltagem está envolvida.”* (p.340)

Apesar de compartilhar, pelo menos parcialmente, com a visão instrumentalista de Millar e King, acreditamos que os estudantes podem nos fornecer pistas de como esse entendimento se encontra articulado quando solicitados a verbalizar seu entendimento de maneira direta. De acordo com essa articulação, a parte explicitável se torna mais ou menos inteligível. Esses estágios de articulação foram reconhecidos por Polanyi, que aceita a existência de diferentes níveis de expressão de uma concepção, relacionada sobretudo à representação mais ou menos precisa do significado dos conceitos. Esses níveis de expressão são traduzidos em categorias, nas quais temos diferentes tipos de respostas de acordo com o grau de articulação alcançado pelos alunos a respeito de um conceito específico (FRADE, 2002).

No discurso, seja verbal ou escrito, demonstramos de certa forma o nível de entendimento que possuímos sobre determinado conceito, pois por meio desse discurso temos a expressão sintetizada de processos e esquemas de pensamento acionados na mobilização de diversos conteúdos para a percepção, interpretação e resolução de problemas relacionados a esse conceito. Dessa forma, ao expressarmos um conhecimento estamos tornando interpretável uma parte muito pequena do nosso entendimento, tendo em vista que o mesmo se estabelece em meio a muitos aspectos e representações que fogem ao

âmbito da explicitação. Quando definimos um conceito de forma clara e inteligível, ao mesmo tempo em que manifestamos uma alta habilidade em conferir significado a esse conceito em diferentes situações para resolução de problemas distintos, demonstramos uma compreensão mais articulada sobre esse conceito. Ou seja, a performance em situações específicas conjugada com a capacidade de explicitar claramente um conceito indicam um nível de entendimento mais apurado.

O alcance do pensamento formal ou mais próximo do científico passa por um processo de rupturas e continuidades, sendo a capacidade de conceitualização um indicativo da formalização. Entretanto, saber dizer com palavras científicas o significado de um conceito não é indicativo de que o estudante atingiu o patamar formal de pensamento; esse fato não será constatado se, ao mesmo tempo em que expressa eficazmente o conceito, o estudante não conseguir resolver problemas que envolvam esse conceito. Isso porque para que o aprendiz domine a solução de situações problemáticas, ele deve ter conhecimento a respeito dos conteúdos necessários para fazê-lo. Podemos dizer então que o entendimento correspondente ao patamar formal de pensamento é aquele expresso em termos de habilidades, ao mesmo tempo em que pode ser identificado na explicitação clara da concepção. Nesse sentido, *“A conceitualização é o ápice do desenvolvimento cognitivo; é a expressão do entendimento em sua maior intensidade; representa o mais alto grau de compreensão em meio à complexidade dos mecanismos de apreensão de significados.”*(MOREIRA, 2002)

Assim sendo, aceitamos que a construção do conhecimento mais formal está relacionada à abstração de situações da realidade imediatamente perceptível em direção a situações hipotéticas mas, apesar disso, o conhecimento não é essencialmente simbólico. Ele se faz presente também em habilidades específicas, quando o sujeito resolve problemas de aplicação dos conceitos. Se, por um lado, o entendimento não pode ser reduzido a um mero componente declarativo, por outro lado não se pode negar que a expressão verbal representa, em algum nível, o grau de articulação desse entendimento.

2.2 UMA TEORIA ESTRUTURAL COGNITIVA

Consideramos que o conhecimento possui distintas características quando acessado em diferentes contextos. Podemos definir tipos diferentes de conhecimento, tendo como

parâmetro a sua aprendizagem, sua manipulação em termos teóricos e práticos, as suas relações com o quadro conceitual, o contexto em que está inserido. BIGGS e COLLIS (1991) dividem as formas de conhecimento em 4 tipos distintos:

- Conhecimento tácito: manifesta-se no ato de fazer e pode ser verbalizável ou não (conhecimento procedural).
- Conhecimento intuitivo: aquele que é diretamente percebido ou sentido.
- Conhecimento declarativo: é expresso através da mediação de símbolos, de forma inteligível.
- Conhecimento teórico: está em um alto nível de abstração, correspondendo a um conhecimento mais abstrato que o anterior.

Biggs e Collis desenvolveram, nos anos setenta, um modelo estrutural cognitivo de aprendizagem denominado Modelo SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*), a partir de uma perspectiva teórica neo-piagetiana. Nos deteremos na exposição sucinta dessa teoria daqui a diante.

Esses autores admitem a existência de estágios no desenvolvimento cognitivo, mas, para eles, esses estágios não desaparecem no decorrer da vida; pelo contrário, aumentam em nível de complexidade e podem se apresentar de diferentes maneiras, simultaneamente, para áreas de conhecimentos distintas. Na visão desses autores não há muito consenso entre os teóricos neopiagetianos sobre a frequência de ocorrência do fenômeno da decalagem - uma grande diferença entre a performance alcançada e a prevista pela teoria de estágios - e de como interpretá-lo. Eles argumentam que esse fenômeno é extremamente comum em contextos escolares e que um aluno pode se apresentar como estando no início do estágio formal em determinados conteúdos de Física e no início do estágio operatório concreto em outros conteúdos de História ou de Química, por exemplo (BIGGS e COLLIS, 1991).

Desse ponto de vista, os estágios a que se referem Biggs e Collis não podem ser definidos em termos de desenvolvimento ou estruturas de pensamento do aprendiz segundo as definições piagetianas desses termos. Em alguns pontos, entretanto, segundo esses autores, os neopiagetianos concordam:

- É possível descrever, em termos de períodos de idades, alguns aspectos comuns da aprendizagem.
- A performance geral em um período de aprendizagem pode corresponder à performance alcançada por uma criança específica em períodos anteriores ou posteriores (não é rígida a estrutura de idades).
- As atividades vão crescendo em termos da abstração.
- Há claras diferenças qualitativas ou descontinuidades no modo de lidar com um mesmo teste em vários períodos.

Para construir sua Taxonomia, esses autores interpretam que os estágios não podem ser definidos em termos de mudanças estruturais na lógica operatória, como na teoria piagetiana. Para eles, ao mudar de estágio muda-se a forma de representar o conhecimento aprendido, não a estrutura da totalidade de tarefas com que se lida em cada estágio. Os estágios de Biggs e Collis, como para Piaget, obedecem a regras de desenvolvimento, e surgem em idades mais ou menos definidas. No entanto, contrastando com a teoria piagetiana eles são aditivos: ao surgir um novo estágio, o sujeito ainda é capaz e efetivamente funciona do modo como funcionava no estágio anterior. O que caracteriza um estágio não é a complexidade estrutural do pensamento como um todo, mas o nível de abstração do modo como os conteúdos de uma experiência são representados.

Isso quer dizer que há uma capacidade de abstração cada vez mais elevada, sendo o estágio formal alcançado após a passagem por outros modos de aprendizagem. Entretanto, quando alcançado o patamar formal, o sujeito pode funcionar em estágios anteriores, uma vez que o surgimento de uma forma de representação para um conceito não impede que outros conceitos sejam representados em estágios precedentes.

BIGGS e COLLIS (1982) definem estágios como a forma de representação de um problema; em cada estágio há níveis de pensamento, de distintos graus de complexidade, através dos quais as competências ou habilidades crescem até atingirem o nível ótimo (melhor forma de representação), principal foco da aprendizagem. Um modo ou estágio não emerge em substituição de outro, mas surge de forma a coexistir com todos já existentes, podendo, assim, haver coexistência também de diferentes níveis de pensamento. Com isso, há um aumento considerável do repertório de modos e níveis de complexidade do pensamento de um adulto maduro em relação a uma criança jovem.

Os modos ou estágios surgem, segundo a teoria SOLO, em idades aproximadas:

- 1- **Sensório motor** (a partir do nascimento): é a maneira pela qual um recém nascido interage com o mundo, da forma mais concreta (respostas motoras a estímulos sensoriais). Não se extingue com a aquisição de outros modos, pois está relacionada ao conhecimento tácito ao longo da vida, através do qual o aprendiz estabelece relações com outros indivíduos e o meio que o cerca. Esse modo é expresso em termos de habilidades que envolvem performances percepto-motoras.
- 2- **Icônico** (aproximadamente 18 meses): é o modo através do qual uma ação se torna mais abstrata e pode ser representada de alguma forma pela criança; corresponde a um modo pré-simbólico, onde há uma espécie de internalização da ação através da codificação da realidade por meio de símbolos, tendo a linguagem uma função de pré-requisito essencial, mesmo não sendo suficiente. Como todos os modos, ele não está presente somente na infância, mas sim em todas as fases da vida; ele cresce em poder e complexidade a medida em que interage com os outros modos, extrapolando a fase infantil.
- 3- **Concreto-simbólico** (por volta dos 6 anos): Através da escrita - sistema simbólico de segunda ordem - há uma mudança significativa em termos de abstração, uma vez que surgem formas de simbolização aplicáveis às experiências do mundo. A representação do conhecimento se torna mais abstrata, uma vez que o indivíduo pensa em termos de símbolos para denotar objetos do mundo real. A aprendizagem no modo concreto simbólico lida com o conhecimento declarativo, demonstrado através de descrições simbólicas do mundo experienciado; há uma lógica e ordem entre os próprios símbolos, sistemas e o mundo. Para BIGGS e COLLIS (1982), os sistemas das linguagens escritas e dos símbolos, que incluem a linguagem vernacular escrita, os sistemas de símbolos matemáticos, mapas, notação musical, gráficos e outros dispositivos simbólicos, nos proporcionam as melhores ferramentas para atuar sobre o ambiente. O modo de pensamento concreto-simbólico é aquele em que conduzimos os aspectos cognitivos mais elevados da vida cotidiana. Ele envolve conhecimento declarativo que expressa conhecimentos factuais e relações entre objetos e conhecimentos.
- 4- **Formal** (aproximadamente 14 anos): Enquanto o modo concreto-simbólico lida com aspectos cognitivos do dia a dia, o formal envolve construtos mais abstratos, se

referindo a um sistema simbólico no qual cada tópico dado está embebido, podendo ser usado para gerar hipóteses sobre formas alternativas de ordenar o mundo; incorpora e transcende circunstâncias particulares e seu pensamento se apóia em princípios e teorias. Esse sistema abstrato de alta ordem eventualmente se identifica com o corpo de conhecimento hegemônico em uma dada disciplina e, apesar de poder surgir por volta dos 14 anos, ele não se generaliza automaticamente para todos os domínios de conhecimento e todo pensamento; alguns indivíduos podem chegar a nunca desenvolver esse modo de pensamento. Segundo BIGGS e COLLIS (1982), a competência técnica requer um entendimento dos princípios básicos subjacentes a uma disciplina de forma que o praticante possa gerar alternativas viáveis quando as máximas que prescrevem as regras de ação se mostram inadequadas. Argumentam que o modo formal de pensamento é o nível de abstração normalmente exigido nos estudos universitários.

- 5- **Pós-formal** (por volta dos 20 anos): o pensamento nesse modo é mais raro, e se remete ao mais alto nível de abstração, geralmente encontrado nos pós-graduandos; corresponde a um alto nível de inovações, sendo que muitas práticas profissionais podem ser bem sucedidas sem que ele seja alcançado. O pensamento pós-formal está ligado a capacidade de operar formalmente em novos campos e na exibição de alta capacidade metacognitiva consciente. Segundo BIGGS e COLLIS (1982), não admitir esse modo de pensamento pode gerar dificuldades em descrever o desenvolvimento cognitivo na vida adulta.

É importante ressaltar que a teoria de Biggs e Collis é intrinsecamente multimodal. Assim, ainda que os estágios se sucedam na mesma ordem, obedecendo às leis de desenvolvimento, (i) o surgimento de um novo modo não obstrui o funcionar em outro modo, (ii) pode-se funcionar de modos distintos em diferentes domínios de ação, mas (iii) em cada domínio de ação passa-se de um estágio à outro através de um ciclo de aprendizagem que envolve uma progressão em níveis crescentes de complexidade do modo de funcionamento. Por conseguinte, esses cinco modos de representar a aprendizagem possuem níveis de complexidade que se referem a uma seqüência estrutural hierárquica de subestágios ou níveis, onde essa aprendizagem é expressa. Esse sistema hierárquico é denominado Taxonomia SOLO, e pode ser usado para avaliar a qualidade de aprendizagem

ou para objetivos curriculares (BIGGS e COLLIS, 1982). Os níveis podem ser descritos de forma abstrata e genérica, da seguinte forma:

- **Pré-estrutural (P):** forma de pensar em que as respostas explicitadas são inadequadas. O indivíduo opera em modo aquém do que o solicitado em uma questão a ele colocada, sendo distraído ou confundido por aspectos irrelevantes pertencentes a um estágio ou modo prévio.
- **Uni-estrutural (U):** o foco é correto, mas o aprendiz obtém poucas informações dos dados e as respostas podem ficar inconsistentes; ou seja, o foco está em um domínio relevante para a realização da tarefa, mas o aprendiz detém-se em um único aspecto, não utilizando todas as informações possíveis de serem obtidas dos dados.
- **Multi-estrutural (M):** o aprendiz se vale de características mais relevantes e corretas, mas elas não se integram totalmente; algumas inconsistências podem aparecer em suas respostas.
- **Relacional (R):** as informações são acessadas, os dados são avaliados e as relações são estabelecidas. O todo se torna uma estrutura coerente; não há inconsistências.
- **Abstrato estendido (A):** O aprendiz agora generaliza a estrutura para um novo quadro com características mais abstratas, representando um novo e elevado modo de operação. Normalmente esse nível torna-se o nível uni-estrutural do modo seguinte da hierarquia de categorias de funcionamento.

Esses níveis de complexidade se estabelecem em cada estágio, formando ciclos de aprendizagem crescente, que podem se constituir em um ou mais ciclos dentro de um mesmo modo. O número de ciclos depende da natureza do conhecimento apreendido: se for muito complexo (demanda muitos conteúdos, muitas relações e um grau maior de abstração) certamente haverá mais de um ciclo de aprendizagem.

Os níveis uni-estrutural e multi-estrutural são o cerne do ciclo de aprendizagem, uma vez que o pré-estrutural se remete a respostas que indicam uma concepção inferior ao nível de abstração da tarefa, correspondendo a um modo anterior de operação; o abstrato estendido normalmente diz respeito a respostas de uma abstração estendida ao próximo modo, correspondendo ao uni-estrutural do modo seguinte.

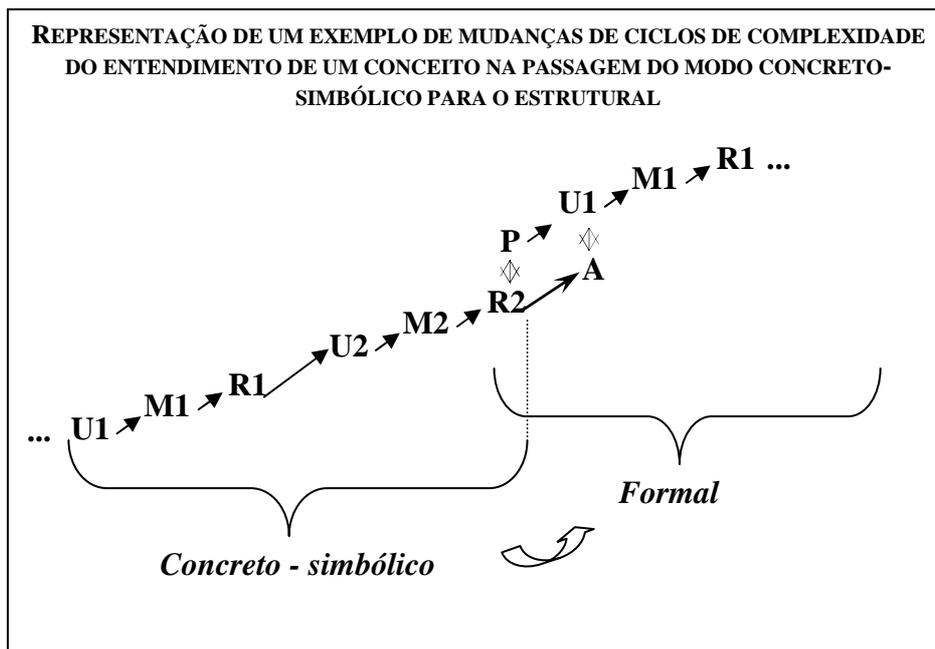


FIGURA 1: P representa o nível pré-estrutural do modo formal, que corresponde, nesse exemplo, ao relacional do segundo ciclo do modo concreto-simbólico (pode corresponder a qualquer nível de complexidade do concreto-simbólico). A representa o nível abstrato estendido do concreto-simbólico, que corresponde ao uni-estrutural do modo formal.

Na FIG.1, temos um exemplo de passagem do modo Concreto Simbólico para o Modo Formal de Pensamento.

Os ciclos de aprendizagem fazem parte do processo de entendimento; quando um ciclo é repetido sem que mude a forma de representar o conhecimento (não há mudança de estágio), ocorre um aumento do grau de entendimento, pois há uma maior abstração dos conceitos. Os níveis desse ciclo, no caso da aprendizagem de Ciências, dizem respeito à incorporação de um conceito ou idéia em meio a um processo científico relevante (PANIZZON, 2003).

Para os conceitos abordados nessa dissertação constatamos mais de um ciclo de entendimento nos modos de pensamento identificados nas respostas dos estudantes. Assim, ainda que a representação do conhecimento não mude, a passagem de um ciclo a outro indica uma progressão na forma de entender o conceito, uma vez que há incorporação de idéias mais abstratas. Podemos definir, de maneira geral, as características dos ciclos de aprendizagem de cada modo da seguinte maneira:

- **Modo Concreto:** referência à imagens do mundo imediatamente perceptível.

Ciclo 1:

U1: utilização de um conceito, de maneira mais inconsistente, para explicação (utiliza dados concretos).

M1: reconhecimento de mais conceitos, mas não há relação estrita entre eles; ainda existe o uso de objetos concretos para explicação.

R1: há relações entre os conceitos utilizados, mas esses conceitos continuam a se referir a dados concretos.

Ciclo 2:

U2: elementos abstratos são incorporados nas respostas, mas essas são sucintas, deixando pouca margem para interpretações; o foco continua em um dado somente.

M2: as respostas são mais abstratas, com mais dados incorporados, mas sem uma relação consistente entre eles.

R2: identificação abstrata (mas fazendo referência a elementos concretos) de dados e estabelecimento de relações consistentes entre eles.

- **Modo Formal:** sem referência a objetos concretos, do mundo real.

Uf1: utilização da definição de um dos conceitos abordados na questão de forma mais abstrata, sem se valer de elementos concretos para explicitar a idéia (eles podem surgir como exemplos).

Mf1: utilização de duas ou mais teorias para a explicação do fenômeno, de forma abstrata e correta, mas focando em cada uma, sem estabelecer relações restritas.

Rf1: articulação abstrata de duas ou mais teorias de forma coerente, incorporando definições e deduções lógicas, sem, contudo, fazer referência a elementos concretos.

Uf2: o uso e a referência a elementos são implícitos no fenômeno; há relação estabelecida com outros fenômenos não diretamente relacionados ao que se quer explicar, ou seja, a resposta vai além dos limites de uma teoria simples que explique o processo, mas o foco se concentra em somente um efeito, teoria ou conceito.

Abordamos aqui somente as diferenças dos ciclos nos modos concreto-simbólico e formal devido à limitação de categorias encontradas nas respostas analisadas nessa pesquisa.

Podemos dizer que no modo concreto-simbólico o ciclo 1 é baseado em imagens e desenvolvido a partir de uma única idéia importante; o ciclo 2 é mais abstrato e possui menos confiança em imagem, pois há incorporação de idéias ou conceitos relevantes do processo científico. No modo formal, no ciclo 1 há o desenvolvimento de um único construto teórico que pode ser aplicado para explicar e resolver um novo problema, enquanto que no ciclo 2 outras teorias são acessadas com esse intuito.

A progressão dos modos ou estágios de aprendizagem está relacionada a diferentes fatores, que influenciam também a passagem de um nível de pensamento a outro dentro de um único modo. Um desenvolvimento otimizado, ou seja, a forma ideal de se passar de um estágio a outro, envolve alguns fatores:

- **Maturação física:** apesar de não ser suficiente, essa é uma condição necessária para o desenvolvimento de uma alta ordem de pensamento.
- **Nível de respostas no modo anterior:** os aprendizes possuem uma alta competência em um modo antes de generalizar os conceitos para um novo domínio; isso sugere que um pré-requisito para a mudança em direção a um novo modo, via respostas no abstrato estendido, seria o nível relacional de respostas do mesmo tópico no modo anterior.
- **Disponibilidade da memória de trabalho:** se a memória é uma capacidade física, qualquer informação extra promove uma organização melhor, havendo passagem de um nível a outro, até chegar ao relacional; qualquer crescimento depois deste, entretanto, requer uma mudança nas bases de organização (mudança modal).
- **Suporte Social:** a interação com outras pessoas parece acelerar o desenvolvimento do aprendiz, pois serve de suporte para realização de tarefas que necessitam de um nível de operação tal que, sozinhos, levam mais tempo ou esforço para fazê-lo.
- **Confrontamento com um problema:** ao se depararem com problemas que necessitam de um conhecimento a mais para serem solucionados, o indivíduo, motivado intrinsecamente, é envolvido em um caminho cognitivo complexo. Assim, o conhecimento prévio e o confronto com um problema que requer o uso e a reorganização de um

conhecimento são necessários para que a mudança modal permita respostas no nível abstrato estendido.

Na teoria de BIGGS e COLLIS (1982), a aprendizagem unimodal (em meio a um único modo ou estágio), difere qualitativamente em termos de significação do objeto apreendido; isso porque dependendo da maturidade, o indivíduo lida com conhecimentos mais complexos e se remete a uma ordem mais alta de modos para aumentar suas performances nos modos de baixa ordem. Se a tarefa se remete ao modo sensório-motor, ela será realizada diferentemente por indivíduos em fases distintas da vida, pois há uma associação de elementos já incorporados com a situação (o que, evidentemente está relacionado a experiências vivenciadas), bem como a utilização de modos de outra ordem para a realização da mesma. Dessa forma, embora estejam agindo em um mesmo modo, um adulto e uma criança não agem da mesma maneira, no que se refere a esse modo.

Esse tipo de aprendizagem unimodal pode nos ajudar a compreender o fator que determina as aprendizagens superficiais, ou seja, o que acontece quando, pela linguagem ou outra razão, a competência no concreto-simbólico e no formal pode não ser relacionada a seus precursores icônicos e sensório-motores. Nesse aspecto, a idéia do desenvolvimento otimizado se baseia no fato de que um modo é apoiado nos fundamentos dos anteriores e, quando é requisitado sem que sua base esteja suficientemente consistente, as relações com as experiências pessoais não são estabelecidas, e a aprendizagem se torna superficial e empobrecida.

De acordo com a teoria SOLO há duas maneiras de interpretar a aprendizagem multimodal, ou seja, a que se remete à integração de diferentes modos ao mesmo tempo:

- “Top-down”, facilidades de baixa ordem de aprendizagem: são aprendizagens de baixa ordem que podem ser mediadas por habilidades de mais alta ordem do que o solicitado na apreensão do conceito em questão. Ou seja, um adulto ou adolescente que esteja submetido à uma aprendizagem no modo sensório motor, tem sua atuação diferente da de uma criança, pois além de seus cérebros e sistema nervoso serem mais desenvolvidos, eles já elaboraram modos mais complexos de pensamento ao longo da vida. Por isso, os atos do indivíduo mais maduro são apoiados em níveis de modos de ordem mais elevada, mesmo quando se referem a modos de baixa ordem de aprendizagem; são, portanto, distintos dos atos de um iniciante e se remetem a mais de um modo de pensamento.

- “Bottom-up”, facilidades de alta ordem de aprendizagem: essa forma de aprendizagem se refere à situação em que o objeto a ser apreendido se encontra em um nível de mais alta ordem e, para compreendê-lo, é necessário invocar modos de mais baixa ordem. Nesse aspecto o aprendiz deve ter fundamentos em modos mais baixos para que haja progressão para modos mais altos, pois, do contrário, como já foi dito, a aprendizagem é superficial.

Assim sendo, podemos dizer que essa teoria se apóia na idéia da existência de quatro formas de conhecimento (tácito, intuitivo, declarativo e teórico), representados pelos modos de pensamento que determinam a aprendizagem. Esta, por sua vez, é influenciada por diferentes fatores, como maturação física, disponibilidade da memória de trabalho, suporte social e o confronto com um problema. Em meio a essa complexidade de relações, podemos investigar as particularidades da apreensão de determinados conceitos sob a ótica da Taxonomia SOLO, que se remete justamente aos modos de pensamento e níveis de complexidade (que se traduzem em ciclos) no processo de aprendizagem.

2.3 TEORIA DE RESPOSTA AO ITEM (*ITEM RESPONSE THEORY*) – IRT

Essa investigação se deteve em aspectos que extrapolam os dados obtidos em procedimentos empíricos usuais. Uma vez que o objeto de pesquisa foi o entendimento que estudantes possuem sobre conceitos físicos mais teóricos, o acesso aos dados não foi realizado de forma direta por meio da observação empírica.

Lidamos com uma variável que, embora considerada mensurável, não é facilmente obtida, pois subtende características não totalmente explícitas. Utilizamos a Teoria de Resposta ao Item - IRT, uma vez que ela abarca as especificidades de variáveis não diretamente manifestas, como a que queremos medir, a respeito do entendimento dos estudantes.

A análise dos dados obtidos através dessa teoria carrega em si pressupostos que devem ser esclarecidos para que a mesma seja compreendida de maneira satisfatória. Essa seção tem o intuito de expor a teoria de maneira mais sucinta, para que a interpretação dos resultados da pesquisa seja mais bem compreendida.

2.3.1 IRT - O que é?

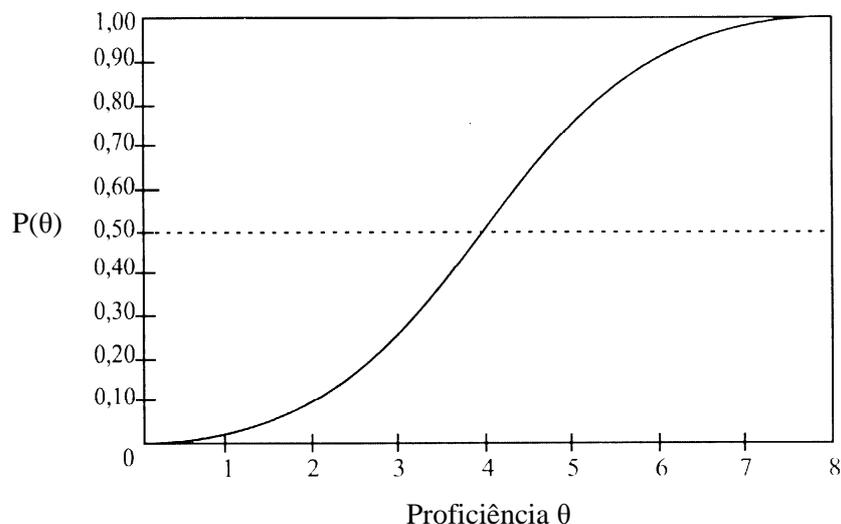
A Teoria de Resposta ao Item é uma teoria que se baseia na medida de variáveis não diretamente observáveis, tais como atitudes, habilidades, aptidão, etc. Por se remeter a traços latentes, seus pressupostos diferem da Teoria Clássica de Testes (TCT), segundo a qual o que se mede são os comportamentos - variáveis observadas diretamente em função do escore obtido em um teste.

Apesar de ter alguma representação nos anos 30, a IRT só começou a ser efetivamente utilizada em meados dos anos 80, devido sobretudo à complexidade de manipulação de seus modelos matemáticos - conseguidos somente com o processamento de programas mais elaborados de computador. Atualmente, percebe-se uma tendência internacional no uso desse modelo em pesquisas que envolvem aptidão e habilidades, tendo uma crescente aceitação dentro do campo da Psicologia (PASQUALI, 2003).

Os modelos da IRT assumem a existência de uma relação funcional entre os valores da habilidade medida pelo item e sua probabilidade de acerto; o desempenho em uma tarefa é devido a um conjunto de fatores (traços latentes) que podem ser descritos por uma equação, a Curva Característica do Item - CCI. Então, a probabilidade de acertar um item só depende dos valores da habilidade medida pelo item.

Uma suposição razoável é que cada respondente usa diferentes habilidades para responder ao teste, mas que aquela que se deseja medir seja dominante. Pode-se considerar que cada respondente possui um valor numérico, um escore, que o determina em uma escala de habilidade, denotada pela letra θ . Em cada nível de habilidade haverá uma certa probabilidade do respondente fornecer a resposta correta; essa probabilidade é denotada por $P(\theta)$. No caso de um item específico, essa probabilidade será pequena para os respondentes de baixa habilidade e grande para os de alta (BAKER, 2001). Plotando-se o gráfico de $P(\theta)$ em função de θ , temos a CCI, representada no GRAF. 1.

O modelo matemático padrão para representar a CCI, como podemos perceber na figura, é a forma acumulativa da função logística. Essa função foi usada inicialmente em 1950 e, por causa da sua simplicidade e forte poder de explicação dos parâmetros, foi amplamente difundida.

GRÁFICO 1: Curva Característica do Item - CCI

A CCI não é a regressão item-teste, que associa os valores totais do teste com as proporções diretas de acertos nos itens em geral. Na CCI a habilidade necessária para se responder aos itens não é medida pelo número absoluto de acertos obtidos no teste. Ainda que a habilidade e a nota total sejam relacionados na IRT, eles não são equivalentes.

Assim sendo, podemos entender a Teoria de Resposta ao Item como um instrumento eficaz para lidar com variáveis não manifestas e, mesmo que tenha algumas limitações (como veremos), ela nos fornece poderosas ferramentas para fundamentar nossa análise, propiciando uma argumentação mais consistente.

2.3.2 Proficiência

A habilidade ou proficiência é entendida como um atributo necessário à realização de determinada tarefa, que pode exigir, por sua vez, muitas habilidades. Ela é definida como um traço latente, não diretamente observável, e sua variável correspondente é assumida como sendo contínua⁵. A proficiência difere do escore total em um teste tanto em termos de valores como em termos de considerações teóricas.

O primeiro propósito da IRT é localizar um respondente em uma escala de habilidade e, para isso, dois pressupostos devem ser assumidos (BAKER, 2001): primeiro, os respondentes podem ser avaliados em termos da quantidade de habilidades subjacentes

⁵ Os tipos de variáveis são explicados no item 4 do capítulo de Análise.

que eles possuem; segundo, comparações entre esses respondentes podem ser feitas em termos de nível de escolaridade e conhecimento (cultural, religioso, étnico, etc).

Admitindo-se que as propriedades psicológicas possuem magnitude, podemos utilizar o modelo matemático no estudo de fenômenos tais como o traço latente. Para medi-lo, entretanto, nos deparamos com o problema da representação: O que representa a variável hipotética que desejamos medir? Uma vez que só temos acesso ao comportamento, seja verbal ou motor, não temos como medir diretamente atributos que não são diretamente identificados através da observação empírica: é necessário estabelecer uma relação entre os comportamentos e os traços latentes.

“Postula-se que, ao operar sobre o sistema do comportamento, está-se operando sobre os traços latentes. Assim, a medida que se faz ao nível comportamental é a medida dos traços latentes.” (PASQUALI, 2003, p.63)

Dessa forma, a representação do traço latente está relacionada ao comportamento, e a demonstração da adequação desse pressuposto é feita através de medidas estatísticas de parâmetros definidos, como discriminação, dificuldade e acerto ao acaso de cada item.

Uma forma usual de se obter aproximadamente uma habilidade é desenvolver um teste com um número razoável de itens (questões). Cada um desses itens mede uma parte da habilidade que se deseja identificar. O respondente deve decidir quais respostas são corretas e incorretas, e atribui-se o valor 1 (um) quando ele acerta o item e o valor 0 (zero) quando erra; temos, portanto, questões dicotômicas. Na Teoria Clássica dos Testes – TCT, o escore bruto será a soma dos escores recebidos nos itens do teste. Na IRT, o interesse está em cada item individualmente, ao invés do escore total bruto. Isso porque os conceitos básicos da IRT estão sobre os itens individuais do teste, de onde se obtém os parâmetros necessários à análise dos traços latentes.

2.3.2.1 Estimação da proficiência

Ao estimar os valores das habilidades dos respondentes, admitem-se certos valores, *a priori*, para os parâmetros do teste. Uma consequência direta desse ato é que a escala métrica da proficiência é a mesma dos parâmetros dos itens. O respondente é submetido a um teste com N itens, e a lista de 0's (zeros) e 1's (uns), correspondentes aos acertos e erros, formam o vetor de resposta através do qual a proficiência é estimada.

Os procedimentos utilizados para se obter os valores das habilidades estimados são o de “Máxima Probabilidade” (*Maximum Likelihood*). Esse é um processo iterativo que se

inicia com um valor aleatório para a proficiência. Através dos valores conhecidos dos parâmetros, a probabilidade de serem dadas respostas corretas a cada item por um respondente específico é computada. Um ajuste da habilidade estimada é obtido pela combinação das probabilidades encontradas através do vetor de respostas dos itens. O processo é repetido até que o ajustamento se torne pequeno o suficiente para que se possa desconsiderar as mudanças (BAKER, 2001).

A equação para a estimação da proficiência pode ser expressa da seguinte forma:

$$\theta_{s+1} = \theta_s + \frac{\sum_{i=1}^N a_i [u_i - P_i(\theta_s)]}{\sum_{i=1}^N a_i^2 P_i(\theta_s) Q_i(\theta_s)}$$

Onde ⁶:

θ_s : Proficiência estimada para cada respondente com iteração s

a_i : índice de discriminação do item i

u_i : resposta dada pelo respondente (=1 se correta e =0 se incorreta)

$P_i(\theta_s)$: probabilidade de acerto do item i em relação à CCI, na habilidade de nível θ com iteração s

$Q_i(\theta_s) = 1 - P_i(\theta_s)$: probabilidade de ser dada resposta incorreta ao item i, em relação à CCI, na habilidade θ com iteração s.

Não temos acesso ao valor preciso da habilidade e sim a uma estimação (valor aproximado) desse traço. Entretanto, admitindo-se que um respondente, hipoteticamente, possa realizar o mesmo teste muitas vezes e em diferentes momentos, e que ainda não há lembrança dos itens respondidos, podemos obter um erro dessa estimação, que indica a precisão do valor estimado. Isso é feito considerando o erro padrão como a medida da variação das habilidades obtidas em cada teste.

Em dois casos a MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) não consegue estimar as habilidades: quando o respondente acerta todo o teste ou quando erra todo o teste. Nesses casos, não há como se ter o valor aproximado das proficiências e os programas utilizados para a estimação não computam esses dados.

⁶ Essa equação é explicada em mais detalhes no Apêndice.

2.3.2.2 Invariância da Proficiência

A IRT considera como uma hipótese básica que a habilidade dos respondentes não varia em relação aos itens dados, considerando um mesmo contexto na realização de uma tarefa. Como consequência temos duas implicações: a) os itens medem o mesmo traço latente subtendido (unidimensionalidade) e b) os valores de todos os parâmetros estão em uma escala métrica comum. Isso quer dizer que a habilidade estimada por um teste que mede o traço latente X será a mesma para outro teste que mede o mesmo traço, mesmo que tenham parâmetros distintos.

A implicação prática desse princípio é que o item localizado em qualquer lugar ao longo da escala de habilidade pode ser usado para estimar a proficiência de um respondente. Esse fato contrasta com a TCT (Teoria Clássica dos Testes), segundo a qual cada respondente terá um alto score somente nos testes fáceis e um baixo score nos difíceis, não sendo possível dizer nada a respeito de sua habilidade.

Segundo a IRT, as habilidades são fixas e invariáveis em relação aos itens usados para medi-la. Entretanto, a palavra “fixa” deve ser compreendida no sentido de se ter um valor particular em um dado contexto. Há muitas aplicações da IRT que dependem basicamente da mudança do nível de habilidade como uma função no contexto educacional. O princípio da invariância do item é a base para inúmeras aplicações práticas da teoria (BAKER, 2001).

2.3.3 Pressupostos teóricos da IRT

2.3.3.1 Unidimensionalidade

Esse é um postulado que considera que as tarefas exigidas em um teste medem uma única habilidade. Embora seja consenso que o desempenho humano em qualquer atividade seja determinado por uma gama de habilidades, é passível de se admitir que um conjunto de itens possa medir uma aptidão dominante.

O método de se testar a unidimensionalidade do teste mais utilizado é a análise fatorial. Apesar de ter consciência da multideterminação do comportamento humano, a solução unidimensional da IRT é considerada bastante robusta; ou seja, os desvios que os traços latentes secundários, além do traço dominante, produzem na interpretação dos scores de um teste são suficientemente pequenos para poderem ser negligenciados.

Muitos autores reconhecem a dificuldade de um teste medir um único traço latente e, por isso, têm elaborado modelos para identificar mais de uma habilidade na realização de tarefas específicas.

2.3.3.2 Independência Local

Segundo LORD e NOVIK (1968), se o pressuposto da unidimensionalidade é assumido, então vale também a independência local entre os itens. A IRT assume que uma variável latente é responsável por todas as relações entre as variáveis manifestas. Sendo assim, ela é que determina a performance no teste, e as respostas são estatisticamente independentes (McCOLLAM, 1998). Isso significa que para um sujeito com um valor fixo de habilidade, a resposta a um item não é influenciada pelas respostas aos outros itens.

A independência local pode ser expressa dizendo que a probabilidade de que um respondente acerte n itens é igual ao produto das probabilidades de acertar cada um deles. Quando essa união de probabilidades é observada para um sujeito, temos a Função de Probabilidade (*Likelihood Function*) e o valor máximo da sua transformação logarítmica é conhecida como Probabilidade Máxima Estimada de θ (McCOLLAM, 1998).

A independência local afirma que se houver correlação entre os comportamentos de um sujeito (o que nos parece mais aceitável do ponto de vista do que realmente ocorre), ela se deve à influência de fatores secundários que, controlados, tornam o fator dominante a única fonte de variação, garantindo a independência das respostas.

Existem numerosas situações onde o princípio da independência local não é válido. Por exemplo, itens encadeados cuja resposta a um depende de que se conheça a resposta do anterior e itens para os quais a ordem da apresentação afeta as respostas.

2.3.4 Modelos da IRT

As funções estatísticas mais usuais para se estabelecer a probabilidade de acerto no teste em relação às proficiências dos respondentes são a função logística, como já citada, e a curva normal acumulada, sendo seis os modelos mais comuns. Entretanto, por conveniência matemática, utiliza-se com mais frequência os modelos logísticos, que apresentam funções distintas dependendo dos parâmetros do item considerado.

2.3.4.1 Modelo Rasch ou logístico de um parâmetro

Proposto por Rasch em 1960, esse modelo leva em conta somente o índice de dificuldade dos itens para estimar as probabilidades de acerto. Nesse modelo admite-se que todos os itens possuem igual discriminação entre sujeitos de alta e baixa proficiência e não se tem menção ao parâmetro de acerto ao acaso.

O parâmetro de dificuldade b é definido como o ponto na escala de habilidade no qual a probabilidade de se ter uma resposta correta é de 0,5; ou seja, é o valor de θ correspondente ao ponto de máxima inclinação da CCI. Seus valores típicos costumam variar de -3 a 3. A equação que expressa esse modelo é:

$$P_i(\theta) = \frac{e^{D(\theta-b_i)}}{1 + e^{D(\theta-b_i)}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

Onde:

$P_i(\theta)$: probabilidade de um respondente com aptidão θ responder o item i

b_i : parâmetro de dificuldade do item i

n : número de itens no teste

e : base dos logaritmos neperianos (2,7182818...)

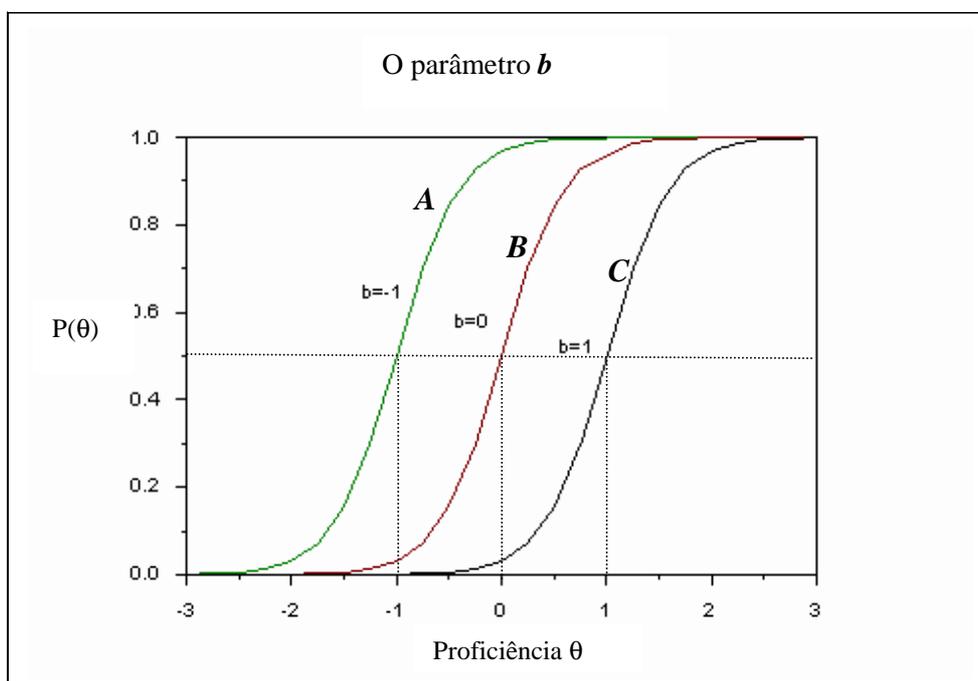
D^7 : constante = 1,7

Os termos “fácil” e “difícil” são relativos, porque dependem do referencial. O parâmetro de dificuldade na TCT é definido em termos de um grupo amostral. Assim, o mesmo item pode ser fácil para um grupo e difícil para outro. Na IRT, a dificuldade de um item é definida como um ponto na escala de habilidade onde a probabilidade de se acertar uma resposta é de 50 % no modelo Rasch. Na verdade, os programas estatísticos utilizados para estimar esse índice nos fornecem uma escala referente à “facilidade” do item, ao invés da dificuldade, pois quanto mais negativo for o valor do parâmetro b , mais fácil é o item. A forma correta de interpretar o valor numérico desse parâmetro é em termos da localização da função do item na escala de habilidade. Nesse sentido, o índice de discriminação ajuda a entender o significado de b .

⁷ Essa constante equipara os valores da função logística com os da função normal.

O GRAF. 2 nos mostra Curvas Características do Item (CCI) com valores diferentes de b . Temos três CCI's com mesmo índice de discriminação (observe que as curvas possuem a tangente no ponto b com a mesma inclinação), mas a CCI **A** tem índice de dificuldade igual a -1, a CCI **B** tem índice de dificuldade zero e a CCI **C** tem 1 para o valor desse parâmetro. Tanto na curva **A** como nas curvas **B** e **C**, o parâmetro de acerto ao acaso é zero, isto é, sujeitos de proficiência muito baixa têm probabilidade nula de acertar os itens.

GRÁFICO 2- Três CCI's referentes a três itens com mesma discriminação, mas parâmetros de dificuldade diferentes.



2.3.4.2 Modelo Logístico de 2 parâmetros

É consenso entre muitos pesquisadores que itens diferentes de um teste discriminam diferentemente os respondentes. Nem todos os itens possuem a mesma capacidade de separar sujeitos com magnitudes próximas da mesma proficiência. Dessa forma, o modelo de um parâmetro, que admite o mesmo índice de discriminação a para todos os itens, mostra-se inadequado. O modelo logístico de dois parâmetros assume, além do índice de dificuldade dos itens, valores diferentes para o índice de discriminação. Possui algumas propriedades:

- a) os parâmetros a assumem valores entre 0 (zero) e 2;
- b) um alto valor de a indica uma CCI bem inclinada;

c) um parâmetro a negativo indica algum problema nos itens.

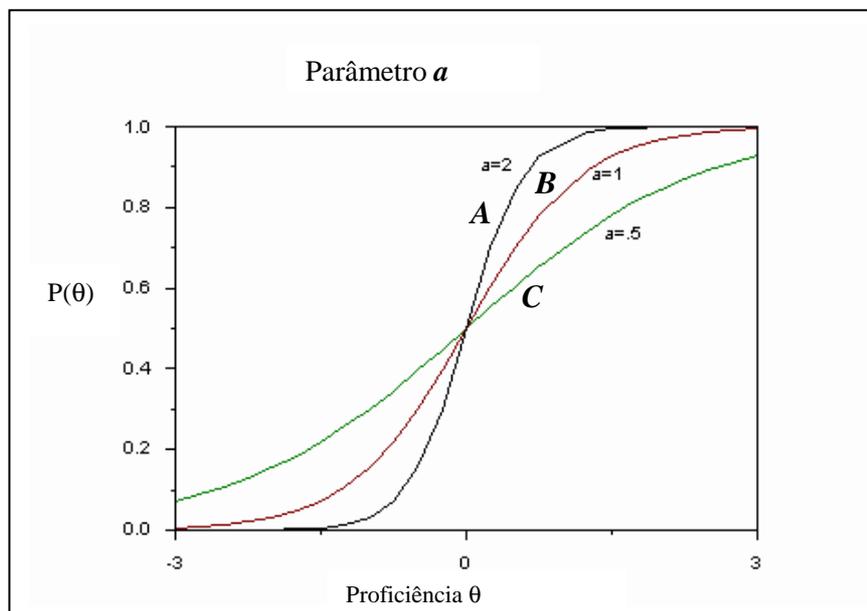
Devido ao formato S da CCI, a inclinação da curva muda em função do nível de proficiência, e alcança o valor máximo quando esse nível se iguala à dificuldade do item. Assim, o parâmetro de discriminação não representa a inclinação geral da CCI, como já indicado; a definição técnica desse índice é complexa e está além dos propósitos dessa explanação. Segundo Baker, é razoável e usualmente difundida a definição desse parâmetro como sendo proporcional à inclinação da reta tangente à CCI em $\theta = b$ ⁸.

A equação que define esse modelo é:

$$P_i(\theta) = \frac{e^{Da_i(\theta-b_i)}}{1 + e^{Da_i(\theta-b_i)}}$$

Podemos perceber, pelo GRAF. 3, que a curva com maior índice de discriminação é aquela que apresenta maior inclinação da reta tangente (CCI **A**), sendo o ponto em que isso acontece referente, na escala de habilidade, ao valor do índice de dificuldade. Nesse caso, temos que o valor de b para as três curvas é o mesmo (igual a zero), sendo zero também o valor do índice de discriminação.

GRÁFICO 3: Três CCI's com o mesmo parâmetro de dificuldade, mas com índices de discriminação diferentes.



⁸ Podemos entender a relação entre o índice de dificuldade b e o discriminação a através da interpretação de que, quando se tem a probabilidade de acertar uma resposta igual a 50%, temos um indicador do quão difícil é o item e, na vizinhança desse valor, obtemos maior discriminação entre os indivíduos de diferentes habilidades, uma vez que a curva nos fornece diferenças maiores de probabilidades perto do ponto em que a CCI muda sua curvatura. (BAKER, 2001)

Embora tenhamos os mesmos valores para o índice de dificuldade e acerto ao acaso, as CCI's são diferentes em relação ao ponto de mudança na curva: as retas tangentes ao ponto b nas curvas A , B e C possuem diferentes inclinações, correspondendo a valores distintos de a .

A maioria dos itens possui um comportamento positivo (a probabilidade de se acertar um item cresce com o crescimento da habilidade), mas podemos encontrar alguns com discriminação negativa. Isso pode ocorrer em virtude de algum elemento que torne o item discrepante em relação ao teste como um todo. Há algo de errado com o item para o qual isso acontece: ele pode estar mal redigido ou pode existir algum erro de informação que prevaleça entre os alunos de alta proficiência, pois esses tenderão, nesse caso, a errar a resposta, enquanto os de baixa habilidade terão maior probabilidade de acertá-la. Quando isso ocorre, deve-se direcionar a atenção para o item a fim de determinar o fator desencadeador desse comportamento.

2.3.4.3 Modelo Logístico de três parâmetros

Nesse modelo há inclusão de um parâmetro adicional do item que estima, se presente, a mais baixa assíntota maior que zero. Esse parâmetro é interessante em respostas dicotômicas porque fornece a possibilidade do respondente acertar ao acaso, pois nesse tipo de resposta sempre temos uma quantidade de respostas corretas que na verdade são decorrentes de respostas dadas ao acaso, como denominamos popularmente de “chutes”.

Birbaum modificou o modelo de dois parâmetros para incluir o índice relativo ao acerto ao acaso c . É importante notar que esse valor não varia como uma função do nível de habilidade. Com isso, respondentes com a mais baixa proficiência possuem a mesma probabilidade de acertar um item ao acaso que os respondentes com mais alta habilidade (BAKER, 2001).

Com a introdução do parâmetro c os outros parâmetros sofrem pequenas variações. No modelo de um e dois parâmetros, b era o ponto na escala de habilidade correspondente à probabilidade de 0,5 em acertar uma resposta. Mas nesse modelo, o mais baixo limite da CCI é o valor de c , ao invés de zero. Esse fato muda o valor de b , que passa a designar o ponto na escala de habilidade onde a probabilidade de acertar uma resposta é a metade da diferença entre o patamar definido por c e 1,0 (um).

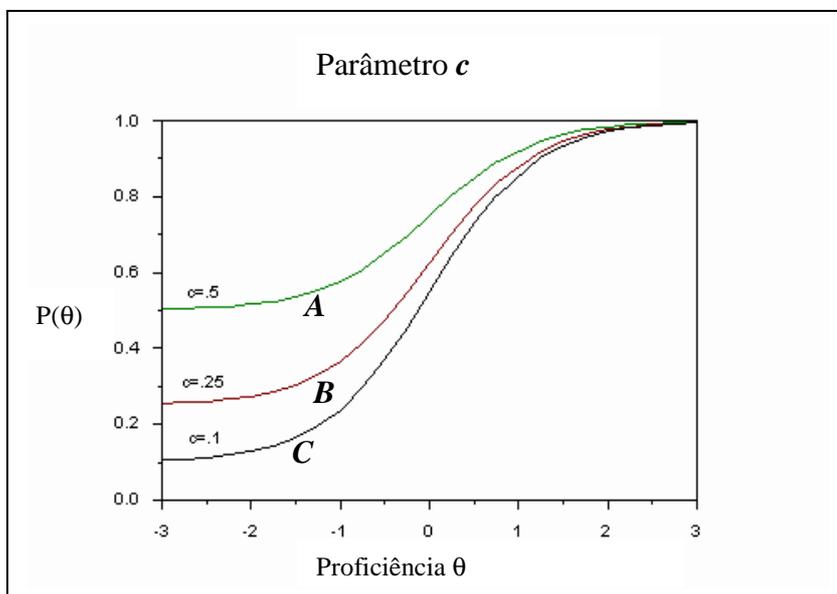
O parâmetro de discriminação ainda pode ser interpretado como sendo proporcional ao declive da CCI no ponto em que $\theta = b$; entretanto, no modelo de três parâmetros a inclinação da CCI em $\theta = b$ é, na realidade, $a(1-c)/4$. Embora essas mudanças nos parâmetros sejam sutis, elas são importantes na interpretação dos resultados de análise dos testes. (BAKER, 2001)

A equação que define esse modelo é:

$$P(\theta) = c_i + (1 - c_i) \frac{e^{Da_i(\theta - b_i)}}{1 + e^{Da_i(\theta - b_i)}}$$

O GRAF. 4 mostra o índice de acerto ao acaso c . Podemos observar que cada curva apresentada no Gráfico 4 possui um parâmetro c específico, sendo os outros parâmetros também distintos para as três CCI's. A curva **A** tem parâmetro $c = 0,5$, sendo esse igual a 0,25 para a curva **B** e 0,1 para a curva **C**. Essa última possui maior índice de discriminação (a reta tangente a essa curva no ponto com $P(\theta) \approx 0,5$ é mais inclinada do que as retas tangentes às outras curvas no mesmo ponto), sendo que todas apresentam mesmo índice de dificuldade.

GRÁFICO 4: Três CCI's com índices de acerto ao acaso distintos.



2.3.5 Os parâmetros da IRT

2.3.5.1 Estimação dos parâmetros

Os parâmetros a , b e c são estimados a fim de nos fornecer informações sobre propriedades técnicas dos itens de um teste.

Inicialmente os sujeitos que responderam a uma série de itens são distribuídos em uma escala de proficiência, tomando-se como parâmetro os seus escores de habilidade no teste. Eles são divididos em grupos com o mesmo escore sendo que, para um escore específico r_j , respondentes do grupo j acertam o item; assim, em um nível de habilidade θ_j , a proporção observada de respostas corretas é $P(\theta) = r_j/m_j$, sendo m_j um grupo de respondentes específicos. Essa proporção corresponde a uma estimação da probabilidade de acerto de uma resposta no nível de habilidade θ_j . A partir daí o valor r_j é obtido e $P(\theta)$ é computado por cada resposta de habilidade j em cada grupo de habilidade plotado (BAKER, 2001).

Tendo esses valores expressos em pontos de um gráfico de $P(\theta)$ versus *Proficiência*, procura-se a curva que melhor se adequa às proporções encontradas. Como na estimação da proficiência, o processo utilizado é o *Maximum Likelihood Estimation* - MLE, através do qual são dados valores iniciais aos parâmetros e, a partir dos valores de $P(\theta)$ encontrados, são realizadas iterações sucessivas a fim de minimizar as mudanças nos valores, chegando a um ponto de máxima aproximação do valor real dos parâmetros. Assim, os ajustes são feitos para estimar os parâmetros, obtidos a partir do resultado da melhor concordância entre a CCI definida *a priori* e os valores correspondentes às proporções observadas de respostas corretas.

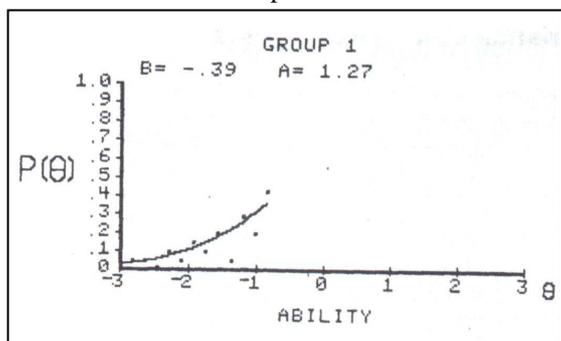
2.3.5.2 Invariância dos Parâmetros

Uma característica fundamental da IRT é que em seus pressupostos está a invariância dos índices dos itens para um teste específico; os parâmetros a , b e c são fixos para o teste, independentemente do grupo de respondentes (desde que tratemos de uma mesma população, com mesmo nível de escolarização, cultural, etc). Se dividirmos um grupo em termos de proficiência, os índices encontrados serão os mesmos. Esse fato é facilmente demonstrado através do processo de estimação dos parâmetros. Se plotarmos em um gráfico, pontos correspondentes a duas amostras de proficiência, teremos uma curva com pouca probabilidade de acerto para o grupo de baixa habilidade (GRAF. 5) e o contrário irá ocorrer para o grupo de alta habilidade (GRAF. 6). Como dizem respeito ao mesmo item, as duas curvas podem ser relacionadas com a mesma CCI (GRAF. 7).

O princípio da invariância dos parâmetros é uma poderosa característica da IRT, uma vez que implica que os valores dos índices dos itens são uma propriedade do item, não

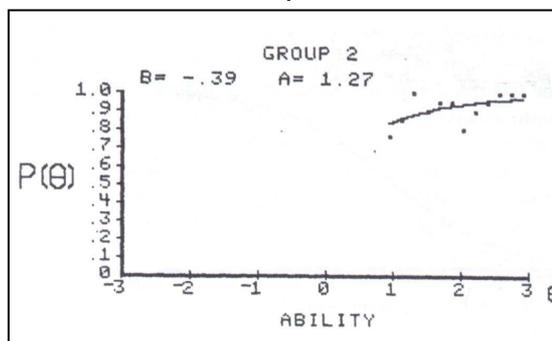
do grupo de respondentes. Na TCT ocorre o contrário: o índice de dificuldade corresponde à proporção de acertos de um grupo de respondentes e, dessa forma, se o mesmo item for submetido a um grupo diferente, apresentará um parâmetro distinto.

GRÁFICO 5: Grupo de baixa habilidade



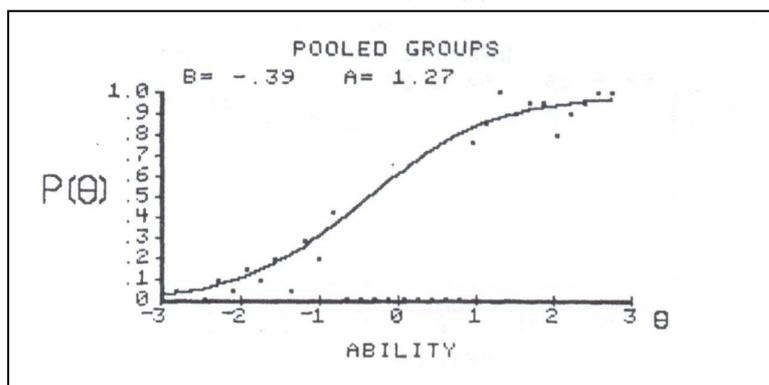
Fonte: BAKER, The Basics of Item Response Theory, 2001.

GRÁFICO 6: Grupo de alta habilidade



Fonte: BAKER, The Basics of Item Response Theory, 2001.

GRÁFICO 7: Amostra de Proficiência – Grupos de baixa e alta habilidade na mesma CCI.



Fonte: BAKER, The Basics of Item Response Theory, 2001

Assim, o índice de dificuldade, nessa teoria, é dependente da amostra e não representa uma característica intrínseca do item. Na prática, o princípio da invariância significa que todos os parâmetros da CCI podem ser estimados a partir de um único segmento da curva.

Embora seja assumida a invariância dos parâmetros na IRT, eles podem apresentar ligeira variação para grupos amostrais diferentes. Isso vai depender do tamanho da amostra e da estrutura dos dados. Mesmo assim, os resultados obtidos a partir dessa teoria são bastante significativos do ponto de vista estatístico e teórico.

2.3.6 Vantagens da IRT

A Teoria de Resposta ao Item é vantajosa em muitos aspectos. Primeiramente, ela nos dá a possibilidade de lidar com variáveis hipotéticas, não diretamente observáveis, pois possui pressupostos teóricos que relacionam os traços latentes aos comportamentos explícitos.

Em segundo lugar, ela nos fornece uma poderosa ferramenta para análise de habilidades baseada em testes específicos, uma vez que os parâmetros dos itens independem do grupo amostral. Os resultados da Teoria Clássica dos Testes dependem da amostra, pois os índices são definidos em termos das proporções de acertos em cada item.

As habilidades específicas na IRT independem do teste aplicado; ou seja, um grupo de respondentes com proficiência determinada terá o mesmo desempenho em testes paralelos, que medem justamente essa proficiência, com os mesmos parâmetros. Em contrapartida, na TCT não é possível comparar testes paralelos, pois os escores são dependentes da amostra e também do teste.

Um outro problema da TCT é a escala do escore bruto, que permite sua interpretação em termos de escala ordinal, enquanto na escala da IRT usa-se a função logística relacionada às probabilidades de variáveis latentes, permitindo uma interpretação em termos de escala intervalar. A vantagem de se utilizar uma escala intervalar está no fato de que temos uma precisão em relação aos valores da escala, o que nos possibilita dizer exatamente as diferenças entre os elementos ordenados. Na escala ordinal temos acesso somente à informação da magnitude dos elementos (qual é menor e qual é maior) sem ter como mensurar as diferenças. Assim, a IRT fornece uma escala cujas distâncias entre dois valores representam intervalos semelhantes no se refere a diferenças (a diferença, por exemplo, da proficiência 0,5 para a 1,5 é a mesma da 3,0 para a 4,0), enquanto que isso não ocorre na TCT. Uma explicação mais detalhada sobre escalas é realizada no capítulo 4.

No presente capítulo foram apresentados os referenciais teóricos nos quais essa pesquisa se baseou. Descrevemos teorias cognitivas, que fundamentaram nossas hipóteses e direcionaram nosso olhar em relação às inferências que fizemos. Elas também foram de essencial importância para a interpretação dos resultados; remeteram-se às discussões relativas ao Saber fazer *versus* Saber dizer. A teoria SOLO, de BIGGS e COLLIS (1982), foi descrita em mais detalhes porque se constituiu em uma das principais ferramentas da categorização das respostas. Além de servir como referencial metodológico, essa teoria

também apresentou proposições que fundamentaram nossas interpretações, se constituindo em importante teoria cognitiva, além de instrumento de análise dos dados brutos (respostas dos estudantes). Finalmente, apresentamos a Teoria de Resposta ao Item, que foi base de análise e interpretação dos dados e resultados, sendo essencial para compreender os aspectos metodológicos da pesquisa.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo apresentamos as hipóteses que fundamentaram a pesquisa, os objetivos que pretendemos alcançar e a metodologia que utilizamos na investigação. Na seção do Desenho Metodológico descrevemos o instrumento de pesquisa, os sujeitos, a situação de ensino e o método de análise dos dados.

3.1 HIPÓTESES

Partimos do pressuposto de que a apreensão de conceitos se realiza ao longo de um período em que o sujeito se depara com situações diversas; o entendimento se realiza em diferentes momentos, nos quais a familiarização com conceitos permite uma abstração ascendente, culminando em um conhecimento mais amplo e geral. Dessa forma, o contato imediato é fator determinante para a consolidação de uma concepção, seja incipiente ou não: o fato de ver ou rever um conceito interfere no entendimento do mesmo, pois se for o primeiro contato o aprendiz conceberá o conceito em termos mais concretos, com referentes imediatos na realidade perceptível; se o contato com o conceito é feito em outros momentos, o entendimento se realiza em um sentido mais amplo, de maturidade, estando em um patamar mais formal de pensamento. Assim, estar em contato com temas em diferentes fases da aprendizagem propicia aos estudantes maturidade para compreender com mais propriedade esses temas, adquirindo um pensamento formal ao longo do processo. Desse ponto de vista, nossa hipótese é de que o pensamento formal é um indício de que o entendimento está mais consistente e mais próximo do que é considerado cientificamente correto.

Um entendimento pode estar articulado em maior ou menor grau, tendo referentes mais concretos ou mais abstratos, inserido, nesse último caso, em um quadro conceitual mais abrangente. Nesse aspecto, acreditamos que não verbalizamos tudo aquilo que sabemos, pois nosso pensamento a respeito de um conceito pode estar em diferentes níveis de formalização, se apresentando com maior ou menor grau de articulação.

Temos a hipótese de que ao explicitar um conhecimento nos valem de muitos atributos (esquemas de raciocínios, sistemas de coordenações de pensamento, quadro conceitual), relacionados tanto à experiência de vida como a conceitos apreendidos durante

um certo tempo e que estão, de certa forma, relacionados ao que vamos expor. Assim, o que verbalizamos ou exteriorizamos, seja na fala ou na escrita, representa o ápice de um conhecimento relacionado a muitos fatores que não estão expressos na sua explicitação. Entretanto, quando esse conhecimento se encontra formalizado, ou seja, se insere em um quadro pertencente a um nível mais abstrato de pensamento, sua explicitação se realiza de maneira mais clara e inteligível.

Podemos focalizar as hipóteses dessa pesquisa em três pontos:

- 1- Os estudantes sabem mais⁹ sobre um determinado conceito do que conseguem explicitar quando solicitados a verbalizá-lo;
- 2- O pensamento mais formalizado envolvendo conceitos que necessitam de um alto nível de abstração para serem compreendidos é atingido quando esses conceitos são retomados, em diferentes momentos da vida e associados a contextos diversos. As articulações que fazemos para verbalizar o nosso entendimento do conceito são mais ricas se ele é abordado de forma mais sistemática em momentos variados da nossa história de aprendizagem;
- 3- Quanto mais estruturado está o pensamento a respeito de determinado conceito, mais facilmente ele é explicitado de forma clara e inteligível.

3.2 OBJETIVOS

Essa pesquisa teve como propósito investigar o entendimento de estudantes do Ensino Médio a respeito da concepção sobre dois conceitos físicos mais abstratos: Sistema de Referência e Movimento Relativo. Nossa intenção foi compreender com mais propriedade como esse entendimento se realiza de maneira mais consistente, em um patamar formal de pensamento (considerado como o correspondente à aceção científica dos conceitos).

Procuramos identificar as relações entre o saber fazer e o saber dizer, interpretar as explicações dos estudantes a partir de uma teoria cognitiva estrutural e estabelecer correspondências entre o grau de formalização do pensamento e a habilidade na solução de problemas.

⁹ No sentido de conseguir lidar eficazmente com situações problemáticas que envolvem o conceito: entendimento em termos de habilidade específica.

3.2.1 Objetivo Geral

Investigar o entendimento dos estudantes do Ensino Médio a respeito de conceitos físicos mais abstratos, procurando identificar algumas das particularidades inerentes ao processo de compreensão e aprendizagem. De posse dos resultados dessa pesquisa, esperamos poder apontar caminhos em relação a condutas que venham a contribuir para uma melhoria efetiva no ensino daqueles conteúdos cujo patamar de formalização é mais elevado.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar se os estudantes sabem mais do que conseguem explicitar, tomando como conhecimento a habilidade em lidar com situações específicas, de caráter teórico prático ou funcional. A intenção aqui é avaliar se, mesmo sem ter atingido a capacidade de conceitualizar adequadamente, o aprendiz sabe utilizar o conceito para resolução de problemas;
- Identificar os modos e patamares de formalização do pensamento dos estudantes do Ensino Médio, com intuito de verificar se há influência da escolarização e recursividade da abordagem do conteúdo para o alcance de um nível relevante de abstração;
- Verificar a relação entre o entendimento em termos de habilidades e os modos de pensamento, procurando identificar se há correspondência entre a capacidade de articulação e explicitação de um conceito e sua aplicação em situações específicas;
- Investigar se há influência do amadurecimento no entendimento de conceitos mais abstratos, tanto em termos de aplicação dos mesmos em situações específicas como também de explicitação desse entendimento.

3.3 DESENHO METODOLÓGICO

A pesquisa foi iniciada com um pré-teste, respondido por alunos do primeiro ano de uma escola pública federal (124 no total). A intenção na aplicação desse pré-teste era a de investigar a concepção sobre os temas, tendo como objetivo maior a realização de um mini curso sobre Relatividade Restrita. Tal atividade apontou para a dificuldade dos mesmos em explicitar seu entendimento, apesar de uma alta habilidade em resolver os problemas. Esse fato nos motivou a investigar a relação entre o saber dizer e o saber fazer, tomando-se

como parâmetro conceitos físicos abstratos. Um questionário mais consistente em termos de conteúdo foi elaborado e aplicado aos mesmos alunos, no ano de 2001; esse consistiu no primeiro estudo piloto.

Em 2002 o questionário foi reformulado visando eliminar questões problemáticas e adequá-lo da melhor forma aos nossos propósitos de pesquisa. Foi aplicado novamente na mesma escola, mas agora em alunos da primeira, segunda e terceira séries, totalizando 409 alunos; esse foi o segundo estudo piloto.

Apesar de ter sido reformulado de acordo com nossos propósitos de pesquisa, o questionário aplicado em 2002 ainda apresentava certas dificuldades de análise, devido, sobretudo, a algumas questões que não foram adequadas para nos fornecer os dados necessários. Assim, aplicamos novamente um outro questionário, abordando o mesmo tema e conservando algumas questões, em outubro de 2003, aos alunos das três séries do Ensino Médio, tendo no total uma amostra de 417. As respostas foram categorizadas de três formas distintas, em três momentos da pesquisa:

- No primeiro estudo piloto, procuramos identificar como a concepção dos estudantes se aproximava do conceito cientificamente aceito em termos da abstração que demonstravam em suas respostas. As categorias surgiram a partir de elementos que indicaram um entendimento apoiado em construtos mais teóricos e emergiram em meio à leitura de cada uma das explicações.
- No segundo estudo piloto, além das categorias já citadas, estávamos interessados na forma com que os estudantes verbalizavam seu entendimento; por isso, outras categorias surgiram, mais relacionadas à maneira pela qual os alunos explicitaram seu entendimento. Apesar do foco ser distinto do anterior, alguma relação pode ser observada entre as duas formas de categorizar, uma vez que respostas coerentes e cientificamente corretas pertencem, em ambas, a categorias que, numa escala de valores, são correspondentes.
- Na investigação aqui apresentada outra forma de categorizar foi utilizada: baseando-se na Taxonomia SOLO, interpretamos as respostas fornecidas às questões diretas sobre o entendimento de Sistema de Referência e Movimento Relativo; essas categorias têm um aspecto diferente das demais: enquanto as outras surgiram da leitura dos dados, essas já foram pré-estabelecidas.

Ressaltamos que os últimos dados foram categorizados e interpretados através das três categorias, bem como os penúltimos; isso nos possibilitou fazer comparações entre os resultados, além de nos dar margem para validar a categorização. Os dados analisados nessa pesquisa foram os coletados em 2003. O questionário aplicado conservou algumas questões e apresentou outras, nos dando a possibilidade de comparar as respostas de dois instrumentos, aplicados em momentos diferentes. Assim, obtivemos novos dados que puderam ser comparados, de certa forma, aos dados da investigação anterior e outros ainda que foram uma fonte mais segura para análise.

Nessa pesquisa utilizamos as categorias de explicitação e Taxonomia SOLO, sendo que as de abstração não foram utilizadas. Essa adoção das duas últimas formas de categorizar se deu em virtude dos objetivos e do referencial teórico assumido, além de apresentarem maior adequação aos dados obtidos.

A seguir apresentamos o instrumento de pesquisa, os sujeitos, a situação de ensino e o método de análise utilizado.

3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA

Nosso instrumento de pesquisa, reformulado no ano de 2003, consistiu em um questionário contendo 6 questões, das quais podemos diferenciar:

a) Questões diretas, de explicitação do entendimento:

Essas se apresentam como um questionamento direto sobre o entendimento dos conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo. Solicitavam a exposição, na forma escrita, da concepção que o estudante tinha sobre esses conceitos.

b) Questões abertas de interpretação:

Nessas eram apresentadas situações em que o estudante deveria mobilizar os conceitos para interpretá-las, justificando sua resposta ou explicando, através de descrições ou desenhos, sua interpretação.

c) Questões fechadas de interpretação:

Algumas situações também foram apresentadas nessas questões, mas as respostas eram restritas à interpretação em relação à veracidade das afirmações feitas; o estudante deveria utilizar os conceitos para o julgamento de verdadeiro ou falso.

A questão inicial foi do primeiro tipo, seguida de duas referentes a questões abertas de interpretação, duas fechadas e finalmente mais uma aberta de interpretação. A questão 1 continha letras *a* e *b*, que diziam respeito à concepção de Sistema de Referência e Movimento Relativo, respectivamente; a questão 2, também composta de duas letras, correspondia à interpretação de trajetória tendo em vista dois referenciais distintos. A questão 3 era única, e seu foco estava na interpretação da relatividade de movimento. As questões 4 e 5 diziam respeito a situações específicas envolvendo os dois conceitos, de verdadeiro e falso. A questão 6, também de interpretação, foi aberta, consistindo em duas letras nas quais os estudantes deveriam justificar suas respostas tendo como parâmetro a relatividade do movimento.

Uma vez que o conceito de Movimento Relativo está intrinsecamente ligado ao de Sistema de Referência e vice-versa, é importante ressaltar que, embora cada questão tivesse um foco em um dos conceitos, o outro com certeza foi mobilizado ao resolver os problemas. Dessa forma, ainda que seja possível determinar o foco utilizado para responder a questão, não podemos dizer que somente um tema foi levado em consideração pelo aluno, pois um conceito depende do outro. Nas questões de verdadeiro ou falso essa separação não foi passível de ser realizada. O questionário como um todo é apresentado no apêndice.

Nossa pesquisa se deteve na investigação das respostas fornecidas às questões diretas e às fechadas de interpretação. As outras, abertas de interpretação, não foram utilizadas na análise dessa dissertação por não nos fornecer, a princípio, elementos consistentes para uma interpretação condizente com o intuito de pesquisa.

As questões 1a e 1b foram analisadas segundo as categorizações já apresentadas: de nível de abstração, de nível de explicitação e Taxonomia SOLO; apresentamos, contudo, a análise feita tomando-se como parâmetro as duas últimas. As questões 4 e 5 foram transformadas em escore (0 e 1) e analisadas por meio de *softwares* estatísticos, através dos quais pudemos ter acesso ao índice de discriminação e de dificuldade de cada item, bem como a proficiência de cada aluno nessas questões.

A utilização de questões escritas para obter conclusões a respeito das concepções dos estudantes não são de todo eficazes no sentido de traduzirem o entendimento; por isso, a utilização de outros meios instrumentais para clarear as idéias se faz necessária (MILLAR e KING, 1993). Estamos cientes dos limites das inferências realizadas nas interpretações das questões de explicitação do entendimento; isso porque além de darem margem para o estudante fazer muitas extrapolações (essas questões são abertas a explicações abrangentes e pouco focalizadas), os conceitos nelas abordados são restritos a poucos fenômenos e, por isso, a explanação do entendimento está limitada a poucos conteúdos o que, de certa forma, limita nossa capacidade de identificar a concepção do estudante. Acreditamos, entretanto, ser possível ter indícios de como os estudantes entendem os conceitos a partir da explicação fornecida a essas questões, pois, mesmo que não correspondam totalmente às concepções, suas respostas indicam, em algum grau, o pensamento sobre o que está verbalizado. Podemos identificar esse entendimento fazendo-nos valer de instrumentos como o questionário, pois partimos do princípio de que determinadas previsões que devem ser feitas no decorrer da realização da tarefa só são possíveis se o aluno tiver um determinado esquema de pensamento, através do qual podemos identificar seu entendimento (MILLAR e KING, 1993).

Enfim, nosso instrumento de pesquisa consistiu em um questionário com questões de verbalização e de interpretação de situações, as quais tiveram tratamentos diferenciados, levando em consideração a natureza das respostas e os objetivos de pesquisa.

3.5 SUJEITOS DA PESQUISA E SITUAÇÃO DE ENSINO

O questionário discutido e analisado nessa pesquisa foi aplicado a um universo de 417 alunos da primeira, segunda e terceira séries do Ensino Médio de uma escola pública Federal no mês de outubro de 2003. Desses, identificamos 178 da primeira série, 155 da segunda e 84 da terceira, como mostra a TAB. 1.

A instituição de ensino da pesquisa possui somente cursos de nível médio, podendo o estudante escolher entre cursar o Ensino Médio Técnico e Científico simultaneamente ou somente o Ensino Médio Científico; essa escolha é feita após o primeiro ano de estudo. É uma escola referência, com alto índice de aprovação no vestibular.

TABELA 1- Número de alunos por série.

Série	Número de alunos	Porcentagem
1	178	42,7%
2	155	37,2%
3	84	20,1%
Total	417	100,0%

Os alunos da primeira série são admitidos na escola por processo de seleção, estendido a toda comunidade, e também por continuidade de estudo do ensino fundamental, restrito, nesse caso, a alunos de outra escola pública federal que tem vínculo com a pesquisada. Os alunos de segundo e terceiro anos são provenientes da primeira série e podem corresponder a cursos específicos de Patologia, Eletrônica, Química, Instrumentação ou somente Ensino Médio. Como os sujeitos da pesquisa foram todos os alunos da escola, que possuem o mesmo currículo em Física, não foram diferenciados quanto ao curso específico.

Em relação à situação de ensino, os alunos da primeira série haviam estudado Mecânica no início do ano, sendo que no mês de outubro estudavam óptica. Nesse ano havia sido implantado na escola um novo currículo da disciplina de Física, priorizando, na primeira série, o contato com todos os conteúdos de Física de forma mais superficial. Dessa maneira, eles tiveram contato com os temas Sistema de Referência e Movimento Relativo no início do ano, mas estudaram outros conteúdos que não se relacionavam a esses conceitos.

Os alunos da segunda série estudaram eletricidade e estavam estudando eletromagnetismo; ambos os temas não envolvem os conceitos abordados no questionário. Assim sendo, podemos dizer que os estudantes dessa série só tiveram contato com os temas no ano anterior, não aprendendo elementos novos em relação ao conteúdo em 2003.

Os alunos do terceiro ano haviam estudado Mecânica em 2001, eletricidade e magnetismo em 2002 e iniciado o ano de 2003 com o estudo de quantidade de movimento, conteúdo de Mecânica que envolve, de forma subjacente, os conceitos de Movimento Relativo e Sistema de Referência. Esses estudantes tiveram contato, portanto, com os temas em duas fases distintas da aprendizagem no Ensino Médio: no momento em que

ingressaram na escola - época que tanto os conteúdos como a disciplina de Física consistiam em novidades - e no ano corrente da pesquisa, em que já tinham certa familiaridade com a disciplina e que a referência a esses conceitos não provocava estranheza.

De forma geral podemos descrever o quadro da pesquisa como composto de alunos das três séries do Ensino Médio, que haviam estudado o tema em diferentes etapas: 42,7% tinham aprendido os conceitos recentemente; 37,2% tinham tido contato com os mesmos em ano anterior e não no ano corrente da pesquisa, enquanto que 20,1% estudaram Movimento Relativo e Sistema de Referência em duas etapas, sendo que na primeira haviam sido submetidos a uma aprendizagem mais explícita e na segunda, acontecida no ano da pesquisa, haviam retomado esses conceitos de forma subsidiária (no sentido de que eles não foram foco explícito do plano de ensino).

3.6 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

De posse dos questionários aplicados, cada respondente foi identificado com um número, e suas respostas digitadas em uma planilha eletrônica. Depois de digitadas, essas respostas foram separadas de acordo com a natureza da questão; desse modo, foi possível categorizar as primeiras questões em uma planilha independente das outras, mas sempre tendo a referência do número e série de cada estudante.

As questões 1a e 1b foram categorizadas segundo o nível de abstração, o nível de explicitação e a Taxonomia SOLO, enquanto os itens relativos às questões 4 e 5 foram corrigidos em termos de escores: atribuímos 1 (um) ao itens corretos e 0 (zero) aos incorretos.

De acordo com os valores atribuídos às respostas de verdadeiro ou falso, fizemos uma análise quantitativa em termos de escores, a partir da qual trabalhamos as performances de acordo com as médias. Esses escores foram levados para o programa BILOG, através do qual tivemos acesso à proficiência dos alunos, ao índice de discriminação e de dificuldade de cada item, assim como ao parâmetro de acerto ao acaso. Utilizando o modelo de 3 parâmetros, verificamos que, em geral, os itens apresentaram um índice de discriminação razoável, enquanto que o índice de dificuldade foi muito baixo; isso nos leva a concluir que o teste, em relação a essas questões, estava fácil, pois além

desse dado pudemos constatar que uma porcentagem significativa (11,5%) de alunos acertaram todos esses itens, em termos gerais.

De posse da performance dos alunos, pudemos relacioná-la às séries e às categorias das questões diretas. Essa análise foi feita por alguns programas estatísticos específicos e através dela investigamos justamente a habilidade dos alunos em lidar com questões em que eles mobilizam os conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo, as possíveis relações entre as performances e a série correspondente e ainda a interferência dessas respostas no grau de explicitação das questões conceituais, além de relacioná-las ao nível de formalização do pensamento.

A análise das questões de explicitação do conceito foi feita mediante as categorias já citadas. O intuito foi o de investigar como os estudantes articularam as respostas a questões diretas a respeito dos conceitos abordados e, assim, fazer correspondências novamente em relação à série e às questões de caráter quantitativo.

Optamos por realizar os testes estatísticos tomando-se as proficiências como parâmetro, ao invés dos escores¹⁰. Os valores obtidos para a proficiência, no programa BILOG foram então transferidos para o programa estatístico SPSS, a partir do qual obtivemos as frequências das categorias e fizemos tabelas relacionando-as. Os mesmos dados foram trabalhados também no programa StatXact, através do qual realizamos testes de associação das variáveis consideradas (série, categorias de explicitação, categorias SOLO, categorias de proficiência). A descrição mais detalhada sobre cada teste utilizado é feita no capítulo de análise.

Esse capítulo se deteve na apresentação geral da pesquisa. As hipóteses que fomentaram a investigação foram descritas em um primeiro momento. Nelas, foram ressaltados nossos pressupostos a) que os alunos sabem mais do que conseguem verbalizar, b) mas quando o fazem de forma mais clara e inteligível demonstram um entendimento correspondente ao patamar formal de pensamento; c) um conteúdo é mais bem entendido quando retomado em diferentes fases da aprendizagem com diferentes abordagens.

Apresentamos os objetivos, geral e específico, que se concentram basicamente na investigação sobre o entendimento dos estudantes a respeito dos conceitos: “Referencial Inercial” e “Movimento Relativo”. Nosso intuito foi o de verificar as relações entre o saber

¹⁰ Essa e outras decisões metodológicas são justificadas e descritas no próximo capítulo.

dizer e o saber fazer, identificar a influência do amadurecimento e da retomada de conteúdos na aprendizagem de conceitos de mais alto nível de abstração e investigar os patamares de formalização do pensamento desses estudantes.

Na metodologia foram descritos os sujeitos da pesquisa, alunos das três séries do Ensino Médio de uma escola pública referência, a situação de ensino e o método geral de análise dos dados, que se baseou em diferentes programas estatísticos para ter maior coerência possível na interpretação dos resultados.

4 ANÁLISE

Nesse capítulo apresentamos os dois procedimentos de análise realizados para os dados coletados em 2003: a análise qualitativa e a quantitativa, bem como as decisões metodológicas que nortearam essas análises.

A primeira diz respeito à categorização feita para as respostas fornecidas às questões conceituais, que solicitavam a explicação sobre os conceitos Sistema de Referência e Movimento Relativo. Nessa parte nossa intenção se concentra em expor a forma de categorização realizada, as inferências e significados atribuídos às respostas dos estudantes, bem como em assinalar as características de cada categoria.

A segunda análise tem por objetivo se deter tanto nas questões diretas como nas de verdadeiro ou falso, fornecendo um quadro apoiado em parâmetros estatísticos para ser interpretado. Estaremos apresentando as relações estabelecidas entre as diferentes categorias de todas as questões, bem como nossas interpretações em relação aos resultados obtidos.

As decisões metodológicas tomadas para a realização da análise serão primeiramente apresentadas, seguidas da análise qualitativa e posteriormente da quantitativa.

4.1 DECISÕES METODOLÓGICAS

Nessa seção descrevemos as decisões tomadas em relação ao tratamento dos dados. Devemos ressaltar que o foco de pesquisa está baseado em características inerentes a traços latentes, variáveis não manifestas, pois se remete justamente ao entendimento dos estudantes, o qual não temos acesso imediato. Dessa forma, em um primeiro momento decidimos em que termos os dados brutos (respostas dos estudantes) seriam tratados: como proficiência ou como escore?

A segunda decisão de peso diz respeito ao modelo estatístico adotado, depois de definida a forma de tratamento dos dados.

Outras decisões foram tomadas em relação à análise em geral:

1 - Através de análises preliminares, constatamos a necessidade de abandonar dois itens: 8 e 12 das questões de verdadeiro ou falso¹¹.

2 - Os alunos que acertaram todos os itens foram excluídos da análise, pois não tivemos como estimar sua proficiência; a amostra foi reduzida, então, para 369 respondentes.

3 - Utilizamos, do questionário como um todo, somente as questões 1, de explicitação, 4 e 5, de verdadeiro ou falso. As outras questões do questionário não foram analisadas para essa pesquisa.

As decisões em relação à adoção da proficiência e do modelo estatístico utilizado são descritas a seguir.

4.1.1 Utilização da Proficiência

Uma vez que temos acesso ao escore dos alunos ao responderem questões de verdadeiro ou falso, nossa decisão inicial foi em relação à interpretação dos valores que corresponderam aos acertos e erros dos respondentes.

4.1.1.1 Proficiência X Escore

O Modelo Clássico de Testes considera o escore como resultante da soma dos valores obtidos para cada um dos itens que foi respondido corretamente (MARTINS, 2004). Assim, se tivéssemos optado por trabalhar com escores, teríamos um ordenamento de notas obtidas no teste; com esse procedimento ordenaríamos os estudantes em função do desempenho.

Uma das diferenças entre a Teoria Clássica dos Testes e a Teoria de Resposta ao Item é que na segunda, a proficiência necessária para responder um item corretamente não se expressa somente pelos pontos obtidos no teste. Outros parâmetros são considerados (MARTINS, 2004). Com isso, a proficiência é estimada a partir de muitas iterações realizadas por programas estatísticos específicos e, de acordo com a teoria que a define, ela representa traços não explícitos, mas que podem ser mensurados a partir de comportamentos (escore no teste).

Além disso, os escores brutos representam variáveis ordinais que permitem apenas posicionar os alunos em uma escala ordinal de desempenho, sem que haja possibilidade de

¹¹ A justificativa para tal decisão é descrita nessa seção.

determinar as diferenças entre uma e outra posição desses alunos em termos de entendimento. Por outro lado, a proficiência é uma variável intervalar, que permite comparar diferenças entre posições e, portanto, temos maior precisão em interpretar as diferenças entre as habilidades encontradas.

Esclareceremos melhor a questão de variáveis na seção de *Definição do Modelo Estatístico Utilizado*. Por hora é importante deixar claro que a proficiência foi mais apropriada ao nosso objetivo de investigar o entendimento dos estudantes, pois a mesma foi considerada nessa pesquisa como uma variável latente, não observada diretamente, e que pode ser expressa em termos de habilidade em lidar com situações problemáticas. Não se restringe, portanto, ao desempenho em um teste, pois está relacionada a características de cada item em particular e, embora tenha certa correspondência com o escore total, seu valor é estimado levando-se em consideração um conjunto de pressupostos teóricos, como já descritos anteriormente.

4.1.1.2 Viés do Teste

A adoção da proficiência como dado para ser analisado nos remete ao problema de equidade do teste; ou seja, devemos determinar se o teste mede, da mesma forma, as habilidades de todos os alunos em relação aos índices de dificuldade, discriminação e parâmetro de acerto ao acaso.

Para que possamos identificar as diferenças entre as proficiências, precisamos nos certificar de que, para todos os respondentes, os parâmetros dos itens são os mesmos, não havendo, portanto, nenhum viés que possa fomentar interpretações errôneas. Em outras palavras, a intenção é saber se o teste está mais difícil para uma série que para outra, se em um grupo ele discrimina mais que em outro, ou ainda se há diferença no parâmetro de acerto ao acaso. Se constatarmos algum tipo de tendencialidade ou enviesamento, não podemos afirmar nada sobre diferenças de proficiências, uma vez que a escala de medida será distinta para grupos cujos parâmetros do teste não são iguais.

A estimação dos parâmetros e das proficiências, como já colocado, é realizada através de programas estatísticos específicos. O utilizado nessa análise foi o BILOG, desenvolvido por Robert Mislevy. O modelo utilizado foi o de três parâmetros e, através de uma análise preliminar, foi constatada uma discrepância em relação aos itens 8 e 12 do teste, pois apresentavam valores muito diferentes dos demais nos dados relativos à terceira série. Por esse motivo, esses itens foram excluídos da análise dos parâmetros, bem como

na análise das proficiências em geral. Tivemos também alguns respondentes que acertaram todos os itens e que, portanto, foram excluídos da análise. Não tivemos casos de escore total igual a zero.

A amostra foi dividida de maneira a agrupar os alunos de mesma série. Após esse agrupamento, fizemos a análise estatística para a estimação dos índices de discriminação a_i , dificuldade b_i e acerto ao acaso c_i , utilizando o modelo de três parâmetros no programa BILOG. Esse programa fornece a melhor estimativa e o desvio padrão associado a cada parâmetro estimado. A partir desse desvio padrão e o número de graus de liberdade, podemos construir intervalos de confiança de 95% para cada parâmetro. Esse intervalo, por sua vez, nos fornece os limites do intervalo de valores que o parâmetro terá em 95 de cada 100 vezes que o avaliarmos; ou seja, se tivermos 10.000 amostras de respondentes similares a que usamos e aplicarmos o teste, em 9.500 dessas amostras os parâmetros estimados ficam dentro dos limites do intervalo de confiança. A expressão que define esse intervalo é:

$$x_{S,I} = \bar{x} \pm t_{N-1} . S$$

Onde:

$x_{S,I}$: limites superior e inferior do valor da estatística

\bar{x} : valor médio amostral da estatística x

t_{N-1} : valor da estatística t para $N - 1$ graus de liberdade

S : desvio padrão amostral da estatística x

A estimação dos parâmetros foi realizada em cada grupo individualmente e em um outro grupo constituído pelas três séries.

A seguir apresentamos a análise para cada um dos parâmetros.

4.1.1.2.1 Índice de discriminação (parâmetro a)

Após a utilização do BILOG para a estimação do parâmetro a , os dados foram transferidos para o Excel e trabalhados de maneira a fornecer os gráficos seguintes. Eles mostram os valores do índice de discriminação para cada item de acordo com dois grupos de alunos formados.

Expressamos nos gráficos os valores do índice de discriminação de cada item (representados pelos pontos na linha relativa a cada grupo formado) com suas respectivas

barras de erro, que correspondem a uma quantidade de dados da amostra que têm a chance de 95% de se encontrar em meio a esses valores.

Os GRAF. 8, 9 e 10 mostram os valores do parâmetro α para cada um dos itens quando tomamos a amostra de cada série em particular e quando tomamos todas as séries juntas.

GRÁFICO 8: Parâmetro de discriminação α para os Grupos: 1ª série e Todas as Séries

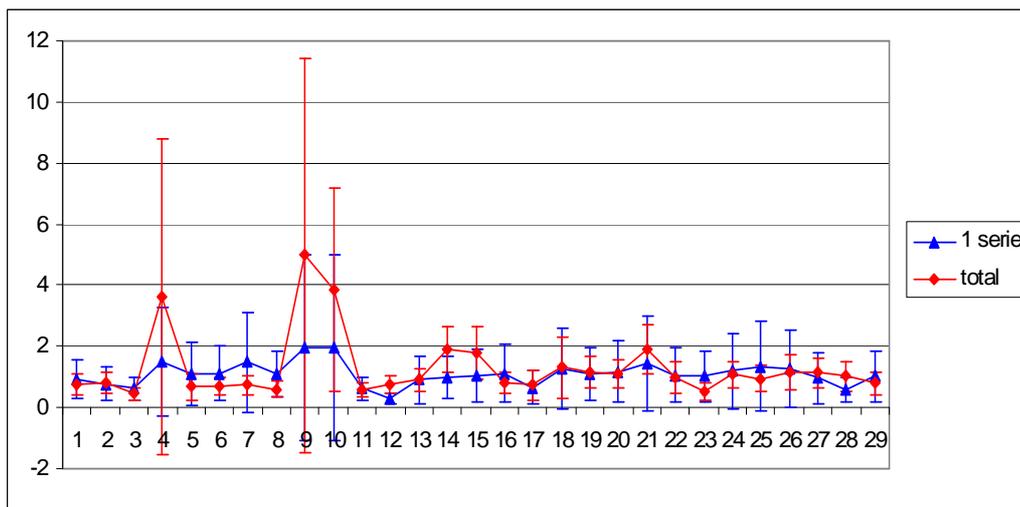
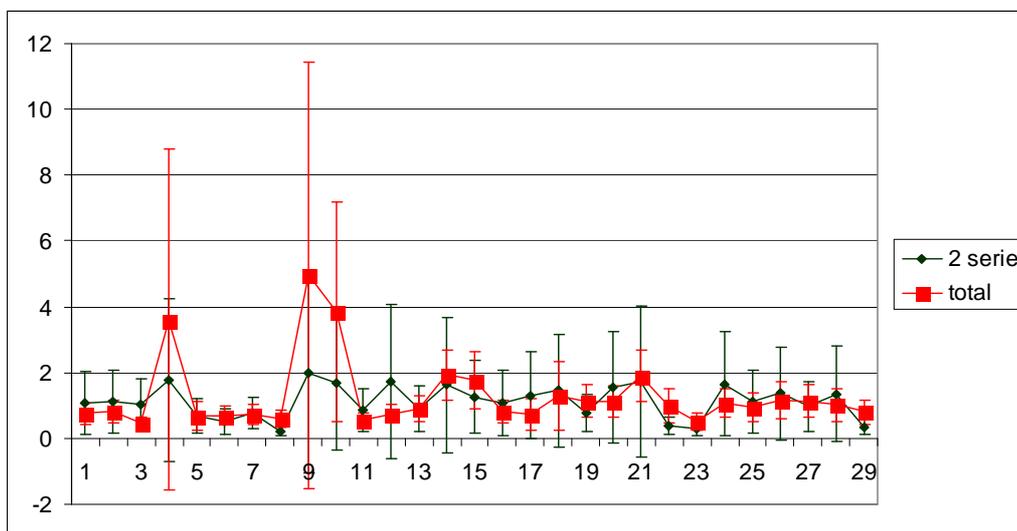


GRÁFICO 9: Parâmetro de discriminação α para os Grupos: 2ª série e Todas as Séries



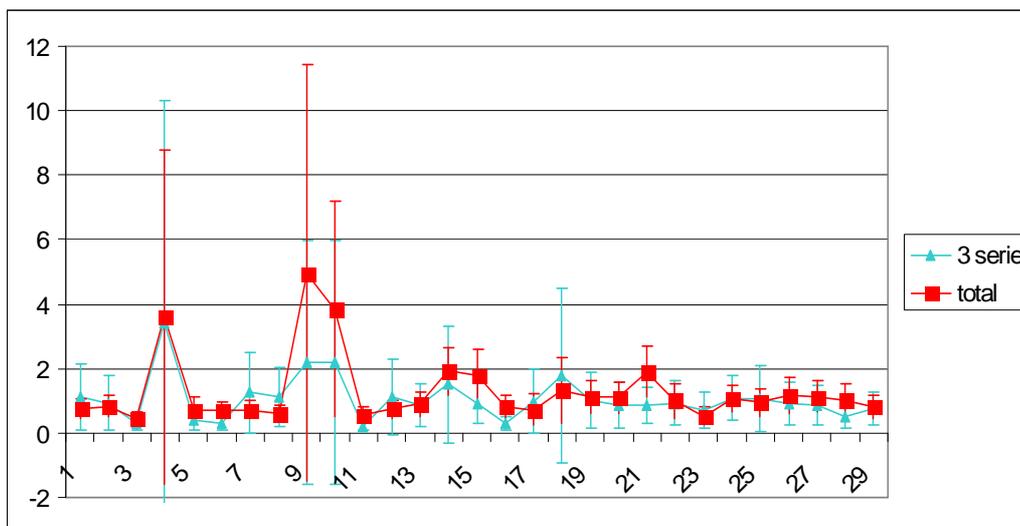
Podemos perceber, através dos GRAF. 8 e 9, que as barras de erros dos valores do índice α para os grupos da primeira e segunda série se sobrepõem sobre as barras de erro desses valores para o grupo formado por todas as séries. Isso significa que não há diferença

significativa entre os parâmetros da amostra de cada série e da amostra de todas as séries simultaneamente.

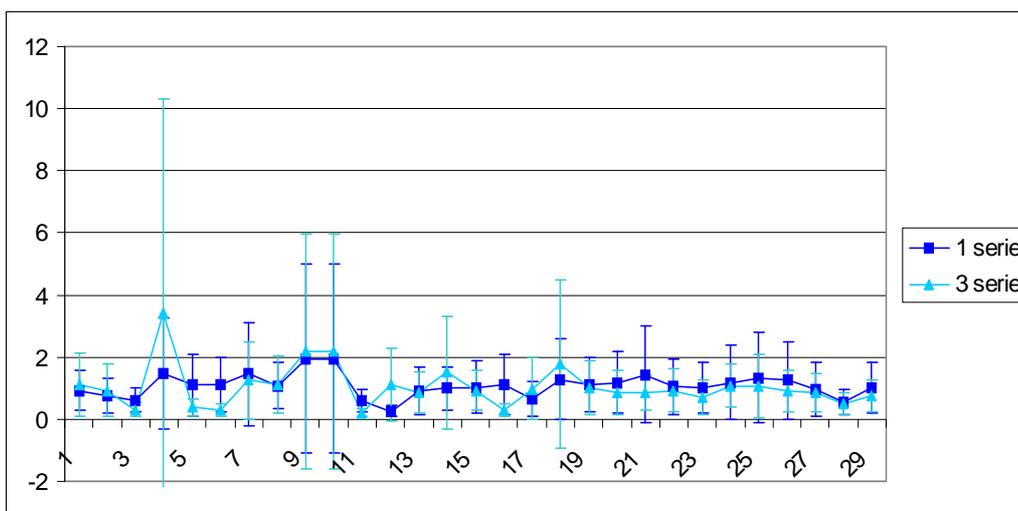
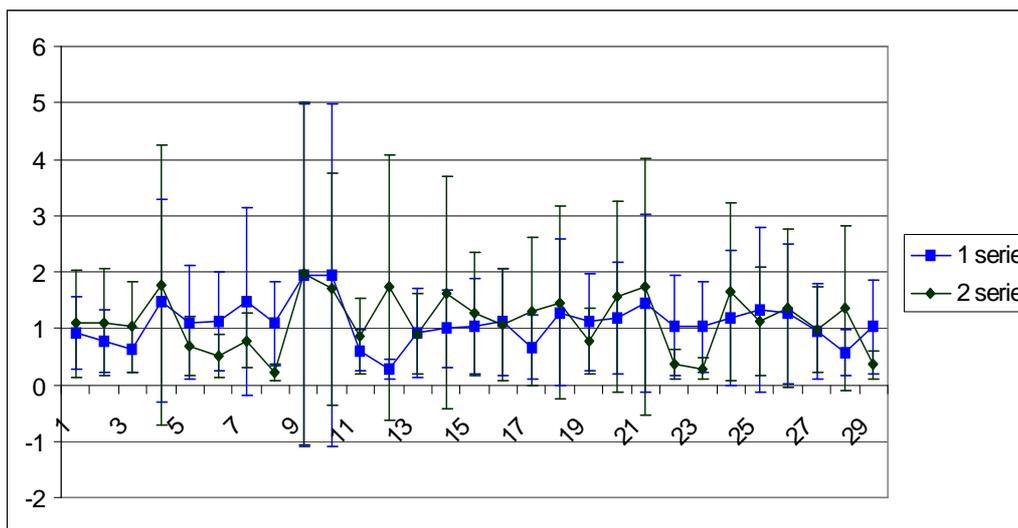
Observamos também que para alguns itens, o parâmetro a possui um intervalo muito grande de confiança, ou seja, a barra abrange muitos valores. Esse fato minimiza a confiança no valor do parâmetro, pois o índice, nesse caso, pode assumir maior quantidade de valores, sendo a sua determinação menos precisa; esse fato leva a crer que o item pode não ter uma boa discriminação. No GRAF. 8 observamos esse fato principalmente nos itens 13 e 18, e no GRAF. 9 esse fato ocorre principalmente para os itens 8, 22 e 23.

Também para o GRAF. 10, que representa a comparação do índice a entre os grupos formados pela terceira série e todas as séries, podemos identificar a sobreposição dos intervalos de confiança para todos os valores do parâmetro relativos a cada item do teste. Nesse caso, podemos perceber que os itens menos discriminativos foram os 6, 11 e 17. Tomando-se os valores do grupo referentes ao terceiro ano.

GRÁFICO 10: Parâmetro de discriminação a para os Grupos: 3ª série e Todas as Séries



Os GRAF. 11 e 12 mostram a comparação entre a primeira e terceira séries, e entre a primeira e segunda séries, respectivamente. Novamente podemos observar a sobreposição dos intervalos de confiança e ainda que os itens com menor discriminação são os mesmos para cada série respectiva. De maneira geral as curvas se sobrepõem, o que nos fornece evidência para a interpretação de que o parâmetro a realmente não difere estatisticamente em cada grupo considerado.

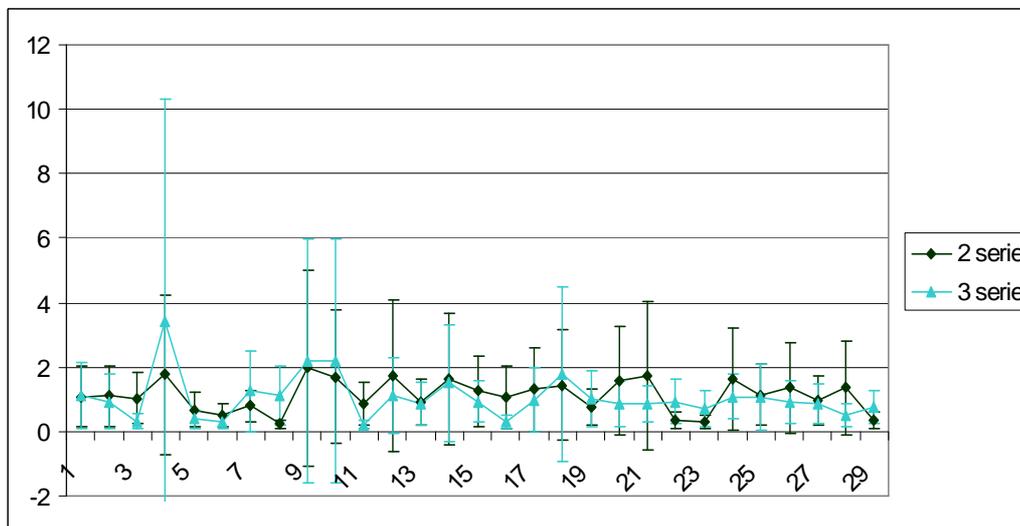
GRÁFICO 11: Parâmetro de discriminação a para os Grupos: 1ª série e 3ª série**GRÁFICO 12:** Parâmetro de discriminação a para os Grupos: 1ª série e 2ª série

O GRAF. 13 compara finalmente a terceira e segunda séries, e temos o mesmo padrão encontrado para os valores de a . A maioria dos valores desse índice na terceira série parece ser menor, mas como todos os intervalos se sobrepõem, esse fato não é relevante do ponto de vista estatístico.

Percebemos que não houve diferença significativa entre cada um dos grupos comparados nos gráficos. Isso significa que não foi encontrado viés em relação ao índice de discriminação dos itens na tarefa realizada: esse índice é o mesmo para todos os itens do teste em qualquer que seja a série, sendo seus valores fixos para as questões respondidas. A amostra não teve parâmetros discrepantes, o que equivale dizer que se trata de uma mesma

população e, sendo assim, os pressupostos de invariância do item são válidos em relação a esse parâmetro específico.

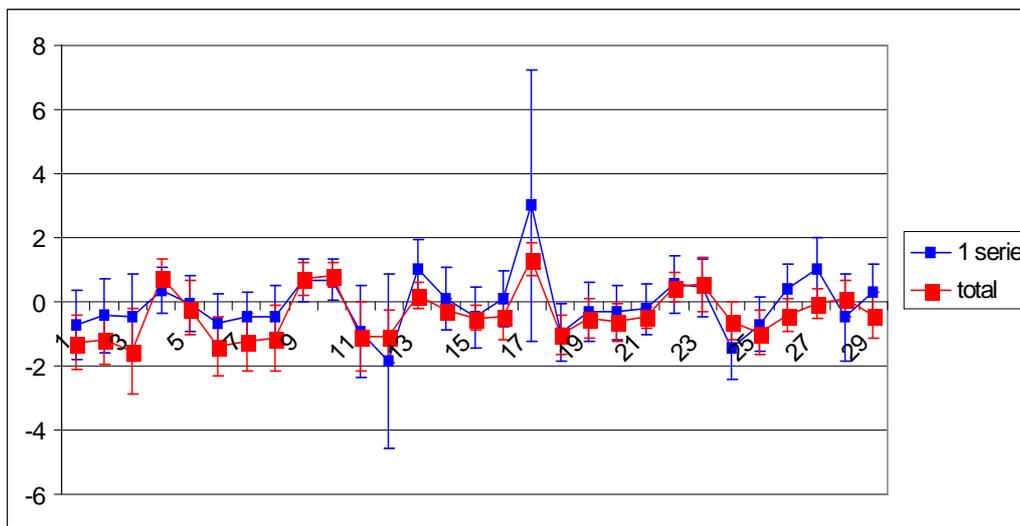
GRÁFICO 13: Parâmetro de discriminação a para os Grupos: 2ª série e 3ª série



4.1.1.2.2 Índice de dificuldade (parâmetro b)

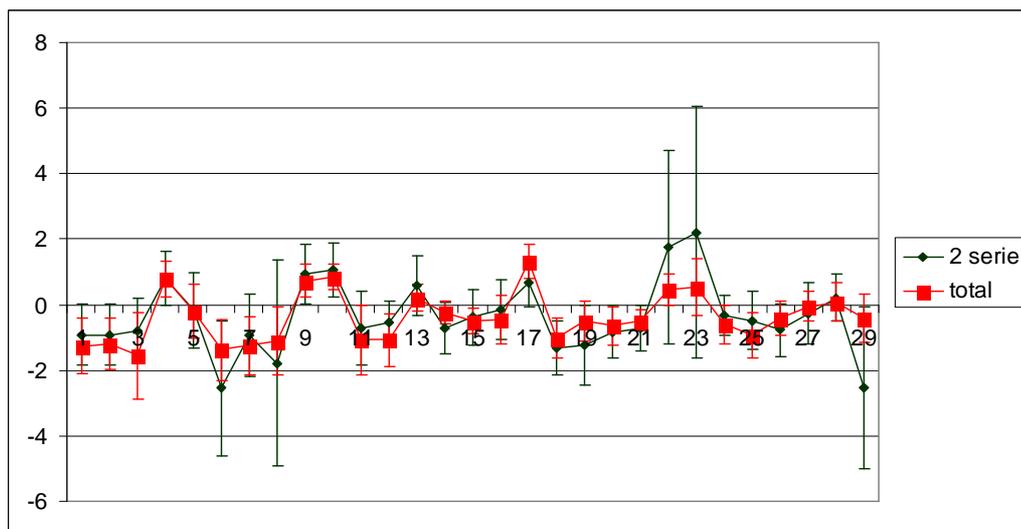
A mesma análise foi realizada para o índice de dificuldade, e os gráficos que mostram as relações entre os grupos estão a seguir:

GRÁFICO 14: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 1ª série e Todas as Séries



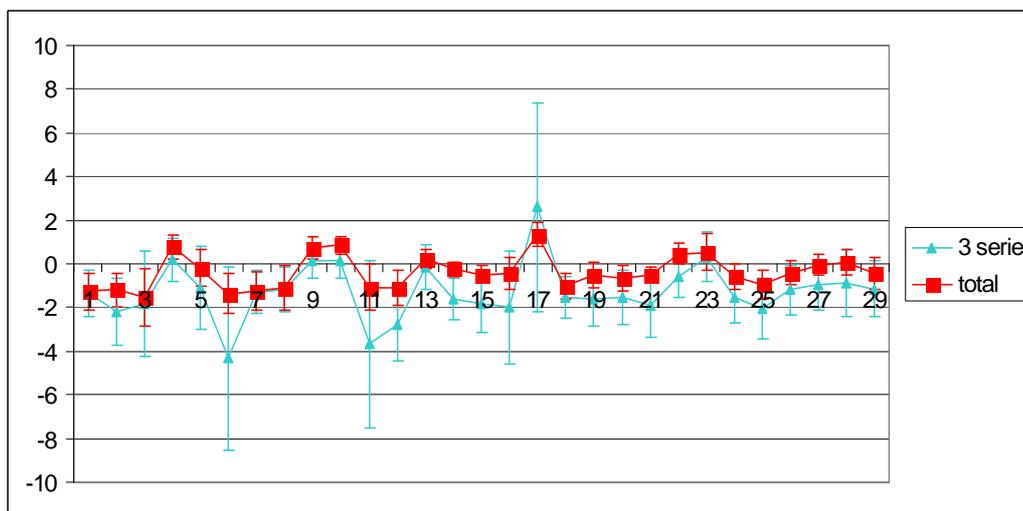
Pelos GRAF. 14 e 15 constatamos a sobreposição de todas as barras referentes ao intervalo de confiança, o que significa que também para o parâmetro b não há diferença significativa entre seus valores em cada item.

GRÁFICO 15: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 2ª série e Todas as Séries



Como foi verificado nas comparações entre os grupos de todas as séries e os referentes à primeira e segunda, também o GRAF. 16, que se refere à comparação entre o grupo referente à terceira série e a todas simultaneamente, demonstra não haver diferença entre os valores do parâmetro b para todos os itens do teste. Podemos perceber, como para o índice a , uma aparente tendência de se ter os valores da terceira série inferiores aos de todas as séries; entretanto esse fato não é estatisticamente comprovado, uma vez que os intervalos de confiança, também nesse caso, se sobrepõem nitidamente.

GRÁFICO 16: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 3ª série e Todas as Séries



Comparando-se agora os grupos formados por cada série individualmente, temos os GRAF. 17, 18 e 19. Os primeiros dizem respeito à comparação da primeira série com as outras duas, e o último se refere à comparação entre o grupo da terceira série e da segunda.

O GRAF. 17 demonstra serem os valores do parâmetro b de cada item bem semelhantes para o grupo da primeira e segunda séries, uma vez que há muitos pontos em que as linhas dos gráficos se interceptam. Já no GRAF. 18 essa interceptação acontece em menor quantidade. Entretanto, em ambos temos a sobreposição das barras de intervalo e, portanto, as diferenças entre os valores do parâmetro não são relevantes.

GRÁFICO 17: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 1ª série e 2ª série

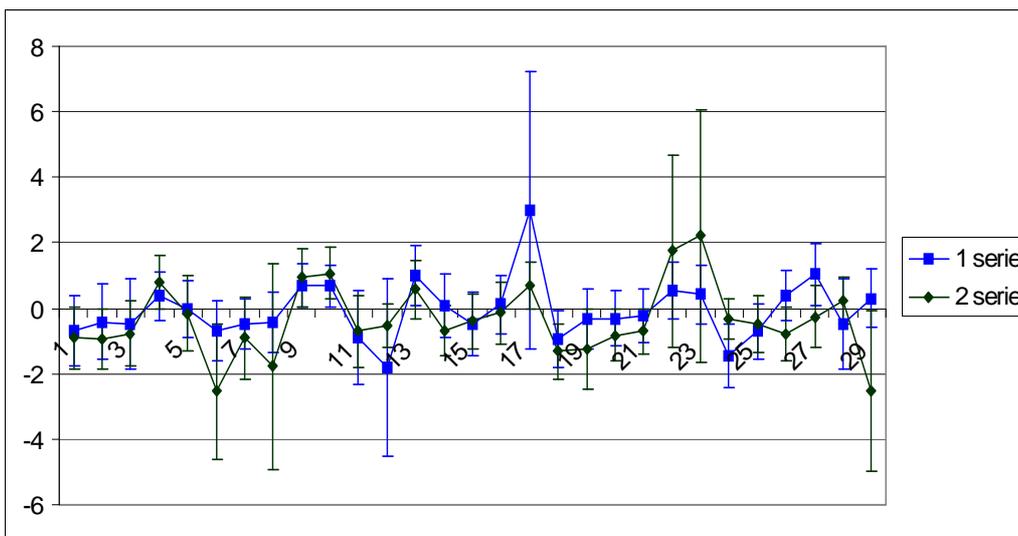
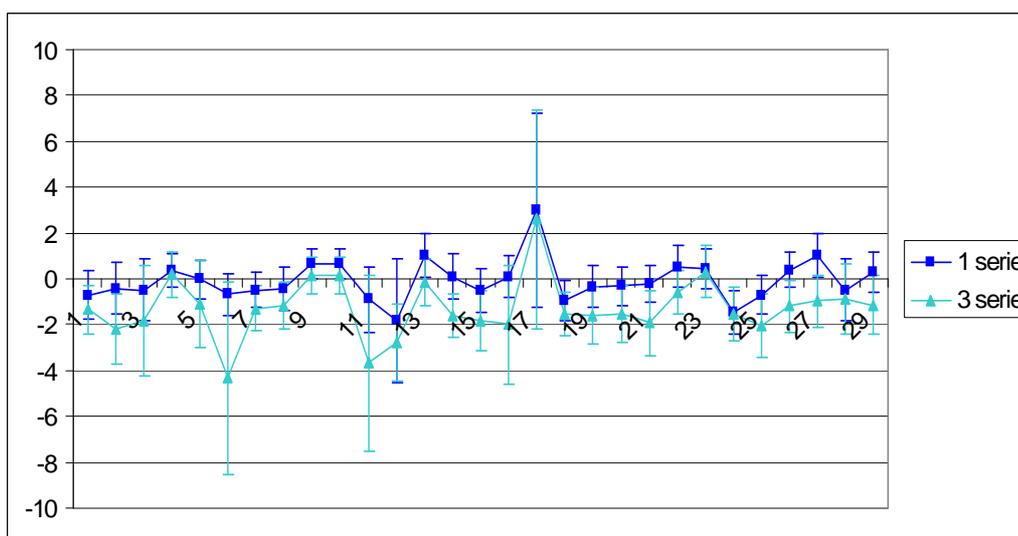
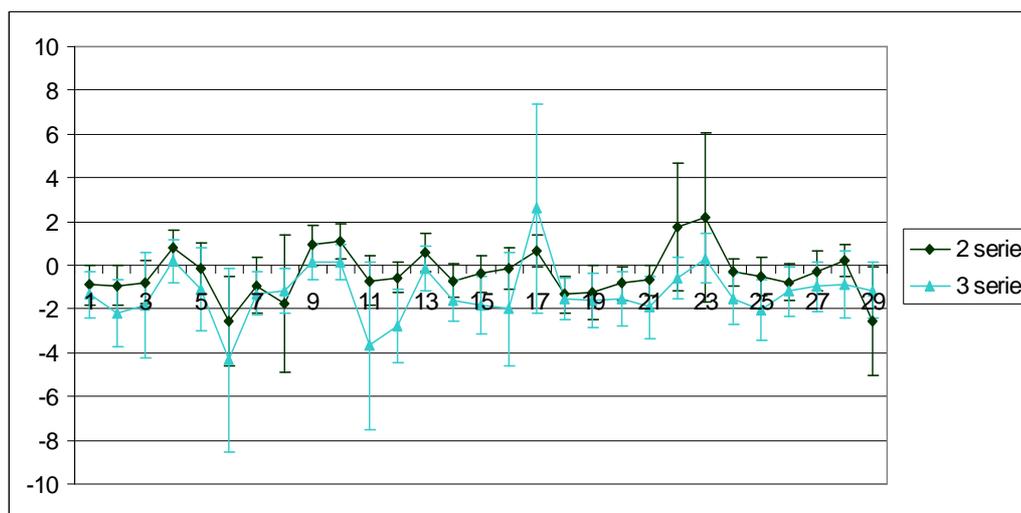


GRÁFICO 18: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 1ª série e 3ª série



O GRAF. 19 mostra que também para os grupos representados pela segunda e terceira séries não foi encontrada diferença entre os índices de dificuldade, uma vez que também para todos os itens o intervalo de confiança dos valores de b se sobrepõem.

GRÁFICO 19: Parâmetro de dificuldade b para os Grupos: 2ª série e 3ª série

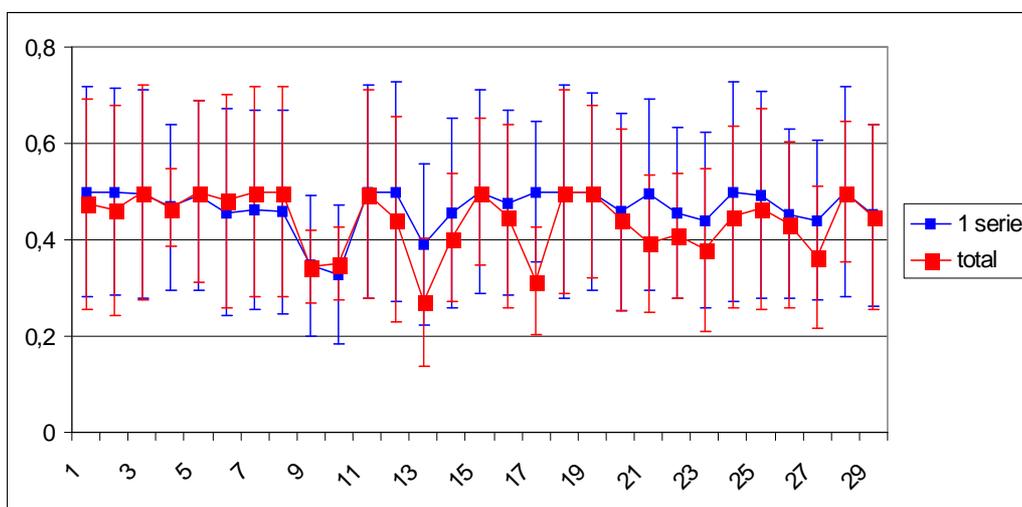


Em geral constatamos que, também para o índice de dificuldade b , não foi encontrado nenhum viés nas respostas de cada amostra, uma vez que não houve diferença significativa entre os valores desse parâmetro para cada um dos itens. Esse fato pode ser demonstrado pela sobreposição das barras de erro em cada item para todos os grupos comparados. Assim, não há tendência de ser ter um item mais fácil em um grupo específico do que em outro; todos são igualmente fáceis ou igualmente difíceis para cada grupo amostral.

4.1.1.2.3 Índice de acerto “ao acaso” (parâmetro c)

Da mesma forma que foram analisados os parâmetros a e b , foi feita a análise do parâmetro c de “acerto ao acaso”. Os mesmos procedimentos foram realizados, e os gráficos relativos a esse índice estão apresentados a seguir.

GRÁFICO 20: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 1ª série e Todas as Séries



Novamente pelos GRAF. 20 e 21, verificamos que também o parâmetro de acerto ao acaso c não apresenta valores diferentes para os grupos de primeira, segunda e todas a séries, pois há sobreposição dos intervalos de confiança em todos os itens.

GRÁFICO 21: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 2ª série e Todas as Séries

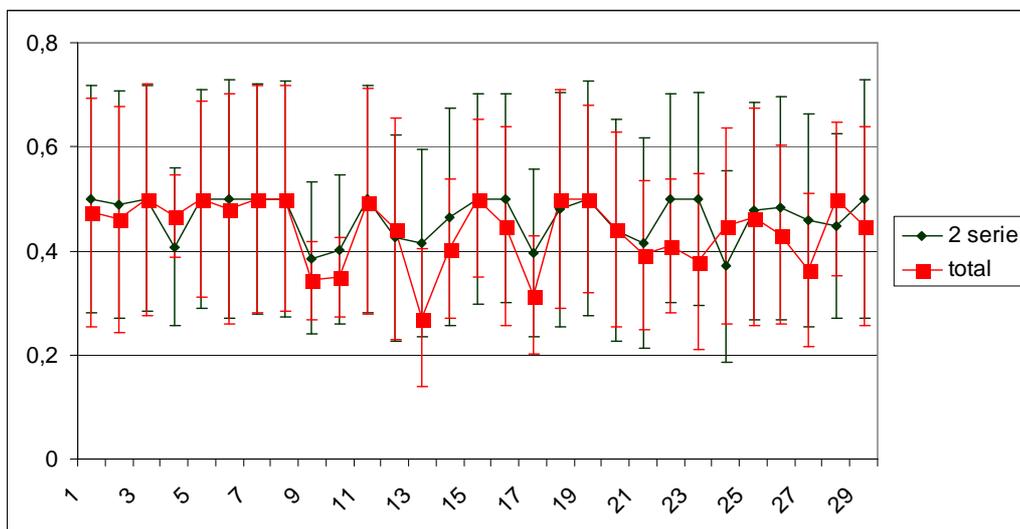
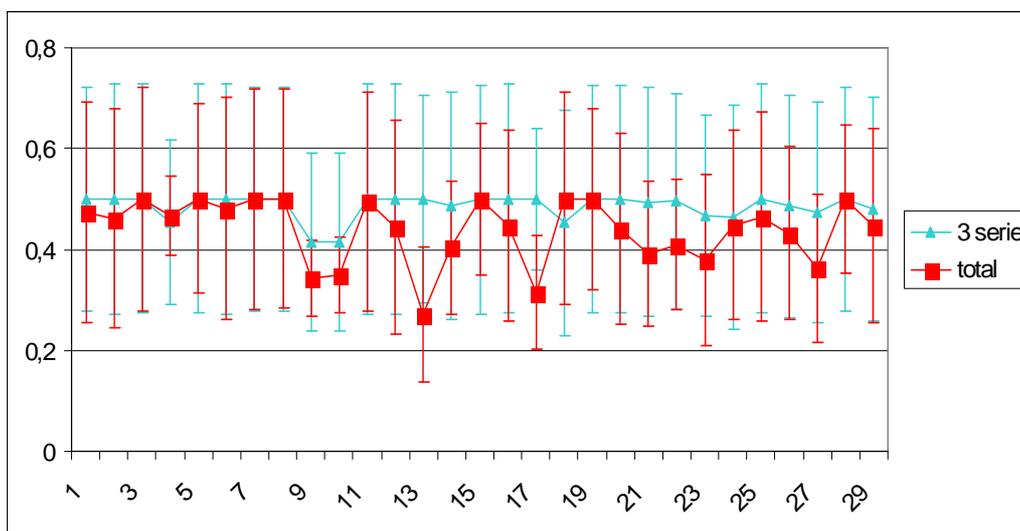
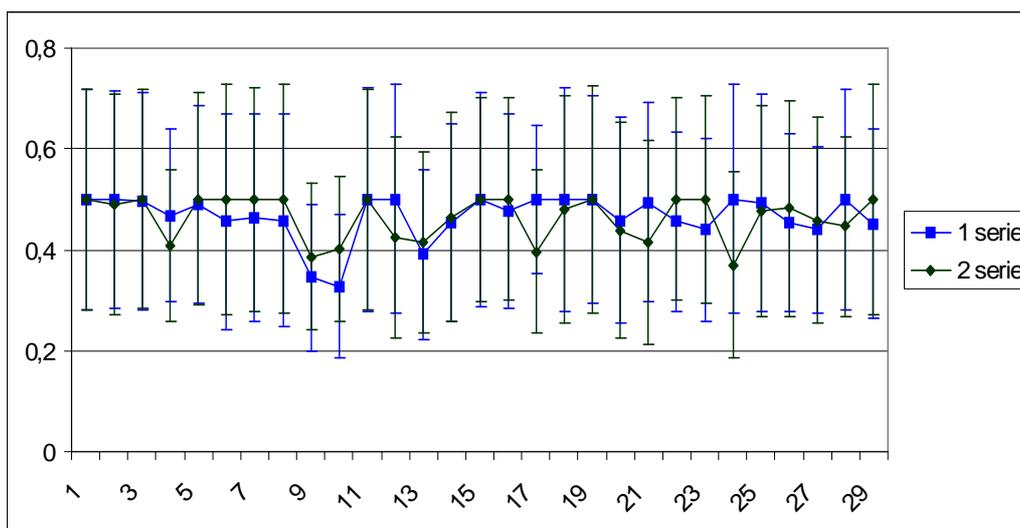


GRÁFICO 22: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 3ª série e Todas as Séries



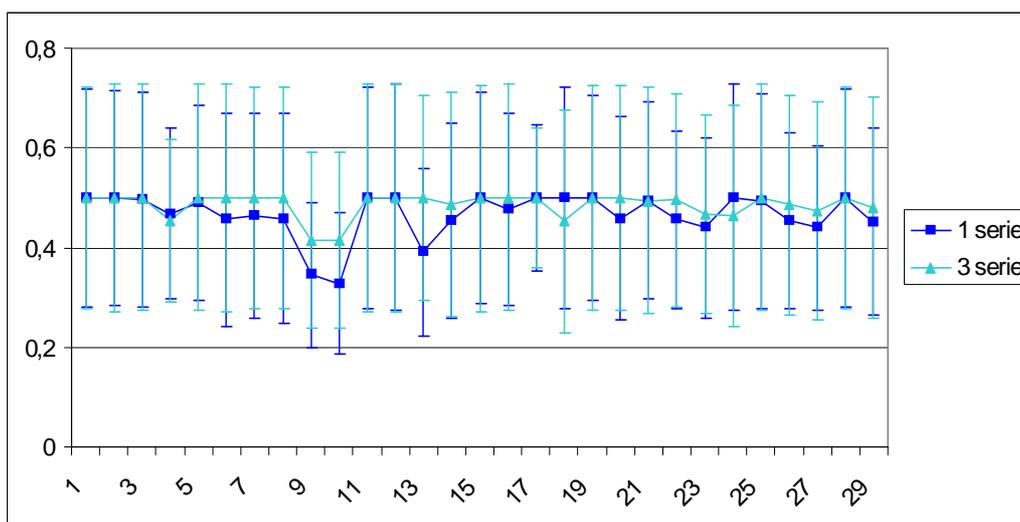
Pelo GRAF. 22 notamos que assim como não houve diferença estatística para o índice c quando o grupo de todas as séries foi comparado com os grupos da primeira e segunda séries, não há diferença entre os valores desse parâmetro quando tomamos os grupos referentes a todas as séries e a terceira, uma vez que também para esse gráfico foi constatada a sobreposição das barras de intervalo de confiança.

GRÁFICO 23: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 1ª série e 2ª série



Comparando-se os valores de c obtidos em cada grupo, tomando-se as séries em dupla, verificamos, como mostram os GRAF. 23 e 24 que não há diferença entre o grupo da primeira série e o grupo da segunda série. Ainda que alguns itens apresentem uma faixa grande de intervalo de confiança (o que significa menor precisão na determinação do valor do parâmetro c), todos esses intervalos se sobrepõem, o que significa que o índice de cada item não difere de uma amostra para outra.

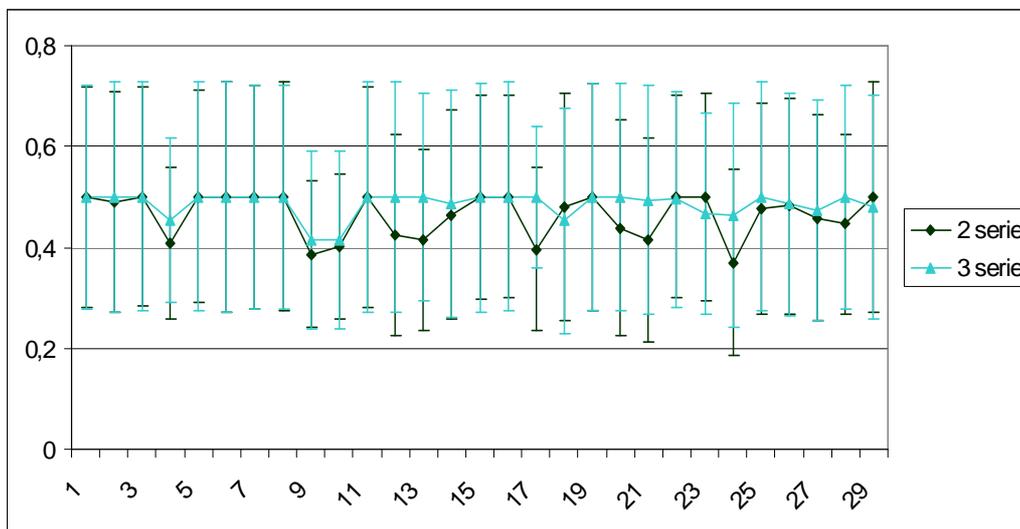
GRÁFICO 24: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 1ª série e 3ª série



Novamente constatamos o mesmo padrão quando os valores do parâmetro c de cada item são comparados levando-se em consideração os grupos referentes à terceira e segunda séries (GRAF.25): há sobreposição dos intervalos de confiança e, portanto, não existe

diferença significativa entre os valores. Assim sendo, esse índice se mostrou invariante no teste para todas as séries, o que nos fornece possibilidades de comparar as amostras com mais precisão.

GRÁFICO 25: Parâmetro de acerto ao acaso c para os Grupos: 2ª série e 3ª série



4.1.1.3 Considerações

Nossas escolhas metodológicas foram norteadas pela busca da melhor adequação de interpretação dos dados de acordo com os propósitos da pesquisa. Nesse aspecto, adotamos a Teoria de Resposta ao Item como instrumento para tratamento dos dados brutos e, através dela, foi possível lidar com variáveis não manifestas, como o entendimento de conceitos teóricos mais abstratos. Nos detemos então na abordagem desse entendimento em termos de proficiência, ao invés do escore total em um teste.

Todavia, essa escolha tem como consequência o problema da invariância dos itens; ou seja, é preciso verificar se é possível estipular uma mesma escala métrica para que habilidades mensuradas em sujeitos distintos em uma amostra possam ser comparadas. Como nossos dados se remeteram a diferentes séries, foi necessário verificar se os índices apresentaram características diferentes para cada grupo, pois se assim acontecesse, a análise das diferenças não poderia ser realizada. Constatamos, por testes estatísticos, que não houve diferença significativa entre os parâmetros do teste para cada grupo considerado: tomando-se todas as séries e cada uma em particular, o teste apresentou os mesmos índices de dificuldade, discriminação e acerto “ao acaso”. Isso nos levou a admitir a existência de uma escala métrica comum nos subgrupos e no grupo completo.

Assim, ao medir a proficiência para os grupos da amostra, estaremos usando a mesma escala, pois elas são obtidas levando-se em consideração os mesmos parâmetros. Esses procedimentos demonstram que, sendo o teste de igual característica para todos os membros da amostra, qualquer diferença na proficiência encontrada entre eles é real e não enviesada; portanto, qualquer diferença nas proficiências não se constitui em um artefato metodológico.

4.1.2 Definição do Modelo Estatístico Utilizado

Tomada a decisão de se tratar os dados em termos de proficiência, outra questão surge para que a análise seja realizada de maneira consistente: Qual a melhor forma de levar em conta as diferenças individuais em termos de proficiência? As alternativas são: utilizar diretamente a proficiência, que em si se constitui como variável intervalar, ou utilizar classes de proficiência, sendo a variável correspondente para análise, categórica ordinal.

Essa definição é de fundamental importância para que tenhamos coerência entre as hipóteses e objetivos da pesquisa, assim como as interpretações realizadas, pois a opção de se trabalhar com uma variável categórica implica na utilização de testes estatísticos distintos daqueles utilizados com variáveis contínuas, uma vez que a natureza do dado é diferente quando o mesmo é considerado como qualitativo e quando é considerado como quantitativo. Por isso, antes de analisar as proficiências, foi preciso identificar qual modelo estatístico para a adoção da proficiência seria mais eficaz para nos fornecer o respaldo necessário na compreensão dos resultados da análise. Vejamos as diferenças entre as variáveis:

- **Variável nominal:** refere-se a uma escala nominal onde os dados são classificados em categorias segundo uma característica, como sexo, raça, religião, etc. Não existe ordem entre as categorias e suas representações; se numéricas, são destituídas de significado numérico.
- **Variável ordinal:** refere-se a uma escala ordinal onde os dados são classificados em categorias que possuem algum tipo de ordem inerente. Neste caso, uma categoria pode ser “maior” ou “menor” do que outra. Por exemplo, quando lidamos com tamanhos em termos gerais: objetos grandes, médios ou pequenos. Embora

exista ordem entre as categorias, a diferença entre categorias adjacentes não tem o mesmo significado em toda a escala.

- **Variável numérica de razões:** refere-se a dados medidos numa escala métrica. Pode se remeter a uma escala de razões discreta, onde o resultado numérico da mensuração é um valor inteiro, como idade e número de filhos; pode se referir à escala de razões contínua, onde o resultado numérico é um valor fracionário pertencente ao conjunto de números reais R , como altura (cm) e pressão arterial (mmhg).
- **Variável numérica intervalar:** refere-se a uma escala que possui um valor arbitrário zero; podemos determinar diferenças entre valores nessa escala, mas não há ponto de partida. Como exemplo temos a temperatura em graus Celsius.

Para melhor compreender a diferença entre uma variável intervalar e outra ordinal, tomemos o exemplo que MARTINS (2004) descreve:

“Suponha que tenhamos que ordenar um conjunto de dez objetos, designados por letras de A a J, em ordem crescente de temperatura. Podemos fazer isso usando nosso julgamento subjetivo de sensação de quente e frio. Para isso tocamos com as mãos, simultaneamente, um par de objetos, por exemplo, os objetos A e B. Se julgarmos que B está mais quente do que A, podemos comparar A com os demais objetos até localizar o que está mais frio, segundo nossa sensação de quente e frio. Após localizar o objeto mais frio prosseguimos ordenando os objetos até produzirmos o ordenamento pretendido. Se ao final obtivermos a seguinte seqüência, na ordem crescente de temperatura, (A, C, E, B, J, H, I, D, G, F), podemos afirmar coisas tais como: o objeto F é o de maior temperatura; o objeto J tem temperatura maior do que o corpo E e menor do que o objeto I. Mas, não podemos afirmar, por exemplo, que a temperatura do objeto E (o terceiro na lista) é a metade da temperatura do objeto H (o sexto da nossa lista).”(p. 52)

A escala que produzimos através dos sentidos é uma escala ordinal, que situa os objetos em ordem de acordo com nosso julgamento; não podemos diferenciar, em termos de valores, a temperatura. Por outro lado, se usarmos um termômetro poderemos identificar não só a ordem de valores de temperatura como também as diferenças entre esses valores; nesse caso, teríamos uma escala intervalar.

A adoção da proficiência ao invés do escore teve como um dos principais pontos essa diferença de escala: o escore não nos garante que a diferença de entendimento de um aluno que tirou 8 e outro que tirou 6 em um teste seja a mesma de um aluno que tirou 5 e outro que tirou 3; o intervalo “2” não tem o mesmo significado nessa escala. Por outro

lado, a proficiência é, por natureza, uma variável intervalar, pois as diferenças entre os valores correspondem, de fato, às diferenças de habilidade. Assim, enquanto com o escore temos apenas uma ordenação de desempenho, com a proficiência temos, além dessa ordenação, a possibilidade de identificar diferenças entre seus valores.

Entretanto, ainda que tenhamos adotado a proficiência para análise, optamos por trabalhar em termos de categorias. Para cada tipo de variável há testes estatísticos adequados: para variáveis nominais só podemos lidar com frequências absolutas e relativas; com variáveis ordinais, além das frequências podemos nos remeter a medianas, quartis e modas; as outras permitem todos esses testes além de ser possível também trabalhar com médias e desvios-padrão.

Para serem tratados como variável categórica, os dados relativos à proficiência foram transformados em grupos de alta, média e baixa habilidade. Assim, temos uma variável ordinal, uma vez que as categorias apresentam uma ordem entre si.

A opção pela utilização de grupos de proficiência se deu em virtude de alguns fatores:

1- Ao se realizar os testes estatísticos apropriados, percebemos que a distribuição da proficiência não se apresenta normal em relação à amostra. Além disso, constatamos que a variância não é a mesma para os grupos de séries.

2- Ainda que a amostra não apresentasse distribuição normal e semelhança de variância entre os grupos, seria possível fazer um tratamento estatístico tomando-se a proficiência como variável contínua. De fato, uma análise dessa natureza foi realizada.

3- O tema de investigação (Relatividade de Movimento e Referenciais Inerciais) é limitado no que se refere à exploração do entendimento dos alunos, pois se remete a conceitos mais específicos. Podemos, pelo elevado nível de especificidade dos conceitos, ter dúvidas razoáveis sobre a existência de uma “proficiência” que explicasse as respostas dos estudantes em relação a tais conceitos. Assim, julgamos mais prudente trabalhar em termos de classes de proficiência. Ainda que percamos poder de convicção na interpretação dos resultados e precisão nas medidas, as interpretações das diferenças entre as frequências obtidas por meio de categorias são mais confiáveis do que as interpretações das diferenças de médias de proficiência; isso porque ao consideramos grupos, lidamos com a amostra de forma mais geral, sendo atenuados os limites de transição das diferenças encontradas.

Através de testes estatísticos apropriados, foi possível identificar o número de classes que melhor se adequou à amostra e, com isso, os grupos de proficiência foram formados com mais precisão. Utilizando o programa WINMIRA obtivemos como melhor resultado a separação da amostra em 3 grupos de classes latentes: alta, baixa e média proficiência.

Dessa forma, nossas decisões metodológicas se concentraram na adoção da proficiência ao invés do escore, por ela corresponder de maneira mais adequada à nossa intenção de pesquisa. Ainda que possa ser trabalhada como variável contínua intervalar, nos dando uma gama extensa de possibilidades estatísticas, optamos por trabalhar com a proficiência em termos de categorias, pois acreditamos que a especificidade e estreiteza conceitual dos temas abordados na pesquisa (Movimento Relativo e Referencial Inercial) não justificam trabalhar com tal grau de precisão e, assim, ao separar a amostra em grupos, lidamos com informações mais gerais, porém mais confiáveis do ponto de vista teórico.

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA

A questão 1 do questionário aplicado foi uma pergunta direta a respeito do entendimento em relação aos conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo, respectivamente.

Uma primeira categorização foi feita para as letras *a* e *b* da questão, em relação ao nível de abstração; essas categorias, entretanto, não serão abordadas na análise.

A segunda categorização foi realizada de acordo com o nível de explicitação das respostas. Em outro momento da pesquisa as mesmas respostas foram categorizadas através da Taxonomia SOLO.

A seguir descrevemos as categorizações que fizeram parte dessa pesquisa, referentes às respostas dos alunos às questões 1a e 1b.

4.2.1 Categorias de Explicitação

Nesse tipo de categorização o interesse estava centrado na forma como o aluno conseguiu expor suas idéias. Nos detemos então no significado das palavras como um

todo. Nos preocupamos em dar sentido às frases escritas e não às partes das mesmas: o foco foi a idéia central do texto escrito.

Estamos cientes que esse modo de análise é limitado, uma vez que se pauta somente na escrita e essa, por sua vez, não corresponde integralmente ao pensamento. Contudo, se expomos uma concepção é porque de alguma forma ela se estabelece em meio a nosso conhecimento e, mesmo que a explicitação não revele todo o entendimento ela é, em algum sentido, referência do nível desse entendimento.

O que argumentamos é o fato de que, mesmo admitindo que as categorias aqui apresentadas não refletem totalmente as idéias dos alunos, elas podem nos servir para classificar as respostas segundo o critério por nós estabelecido. Não pretendemos, com essa forma de categorizar, ir além do que podemos tirar das próprias palavras. Por isso, essas categorias, ainda que carreguem inferências por parte do pesquisador – qualquer forma de análise o faz – têm como foco principal a apreensão do pensamento exposto nas palavras como um todo, em cada resposta dada às questões diretas.

O olhar se volta também para a aceitabilidade, em termos científicos, das respostas; ou seja, se elas estão corretas do ponto de vista acadêmico. Assim sendo, essas categorias emergiram de uma interpretação que avaliou não só a clareza das idéias colocadas como também sua coerência, tendo como parâmetro a definição científica dos conceitos. Essas categorias podem então ser definidas da seguinte forma:

4.2.1.1 Para a questão 1a, sobre Sistema de Referência

Em relação a esse conceito em geral, tivemos um número grande de respostas cujo entendimento se traduzia em frases não totalmente interpretáveis, por conter, em sua estrutura, palavras que não denotaram sentido algum; esse conceito corresponde a um nível de abstração mais elevado e, portanto, é difícil de ser expresso em palavras. As categorias que foram associadas às respostas estão descritas a seguir:

4.2.1.1.1 Explícitas

Respostas que traduzem claramente o entendimento cientificamente *correto* sobre Sistema de Referência; as idéias estão explícitas de forma clara e objetiva a respeito do conceito. Essas explicações são assim denominadas por serem de certa forma compreensíveis do ponto de vista do leitor, uma vez que as idéias se apresentam de forma articulada e de fácil entendimento, além de corresponderem à aceção científica do

fenômeno. É importante esclarecer que, mesmo que a idéia expressa na resposta esteja facilmente interpretável, ela só pertencerá a essa categoria se estiver correta do ponto de vista acadêmico.

Em meio a essas respostas, podemos encontrar diferentes formas de compreensão do termo proposto na questão, expressas em palavras que nos proporcionam o agrupamento dos alunos segundo seu pensamento. Dentre os entendimentos desse item podemos apontar os que definem o termo como um ponto de vista, perspectiva a partir da qual um fenômeno é observado: *“Na minha opinião, sistema de referência é o modo de se observar as coisas, ou seja, se eu estou dentro de um carro em movimento e olhar para o volante, falo que ele está parado mas quando olho para uma árvore do lado de fora do carro, falo que ela esta em movimento.”* Alguns manifestam seu entendimento sobre referencial destacando seu caráter funcional, ou seja, sua utilização enquanto entidade física (ou matemática): *“Para mim, a expressão ‘sistema de referência’ significa a relação usada para a comparação de grandezas diferentes. Assim, há infinitos sistemas de referências, tanto na matemática quanto na física, que são usados em medidas, distância, pontos referenciais e etc...”*

Diferentes entendimentos também são observados no que se refere à definição concreta. Dentre eles, estão os que definem o termo como um local de onde um fenômeno é observado: *“Entendo que sistema de referência é o local que o observador se baseia, para obter o resultado de um experimento, resultando este que pode ter influência dependendo do sistema de referência que o observador se encontra, ou seja, do referencial”*. Alguns atribuem ao sistema de referência características de objetos, demonstrando uma compreensão que remete o termo a algo palpável, concreto, que pode ‘subir’, ‘descer’, se mover como um corpo qualquer: *“Sistema de referência são pontos (casas, árvores, carros, etc) que te servem de referência”*.

Em todos esses exemplos o entendimento é expresso de forma clara, possibilitando ao leitor identificar a maneira pela qual o estudante concebe o tema da questão e ainda apresentam uma definição correta do conceito abordado.

4.2.1.1.2 Parcialmente explícitas

Respostas que apresentam uma idéia não muito clara a respeito do conceito, mas possuem indícios de que o entendimento é correto; ainda fazem parte dessa categoria

respostas que se apresentam parcialmente corretas por conterem algum elemento de erro ou consideradas incompletas.

Dentre essas, podemos apontar algumas que, apesar de darem a idéia de conceber referencial como algo palpável, não deixam muito evidente o entendimento do conceito abordado; referem-se geralmente a pontos adotados, mas sem informar muito como poderiam ser esses pontos: *“Todo tipo de ponto material que tomamos como referência para analisarmos um fenômeno”*; nessa resposta não há como saber que tipo de pontos o aluno se referiu e nem sua concepção do fenômeno. Algumas respostas conceitualizam sistema de referência como medidas; o entendimento é de um conjunto de medidas obtidas a partir da observação detalhada de um fenômeno: *“Sistema de referência é o conjunto de dados que devem ser levados em consideração ao analisar uma determinada situação”*. Temos ainda aquelas em que a expressão do entendimento se faz em meio a palavras que nos dão vasta margem de interpretação, sendo o foco pouco definido, se restringindo a um único aspecto funcional do conceito: *“É qualquer coisa que serve como ponto de referência para se dizer se um corpo está ou não em movimento”*. Ainda nessa categoria encontramos a idéia de realidade de movimento, ou seja, a aceção da existência de um referencial preferencial a partir do qual é possível determinar o estado de repouso ou movimento de todos os outros corpos: *“Alguma pessoa ou objeto ou ponto fixo que serve de referência para alguma coisa em movimento”*. *“É a referência que vai observar um movimento. Ela deve ser fixa (parada, ou em movimento), pois só assim o movimento pode ser estudado”*.

Algumas respostas estão expostas de forma a deixar poucas evidências sobre o que o estudante entende por Sistema de Referência, mas podemos, ainda assim, inferir algo sobre sua concepção, como sendo pautada no conceito como ponto de vista ou como objetos concretos que servem de referência, principalmente ao movimento: *“O movimento de um corpo depende do sistema a sua volta, pois ele pode estar se movimentando em relação a um outro corpo e estar parado em relação a um terceiro. O sistema de referência é o sistema de sua volta”*. Nessa explicação não sabemos se o aluno entende o conceito em termos de objetos a sua volta, mas certamente a sua idéia é concreta, uma vez que relaciona movimento a um corpo que serve como referência; identificamos, então, elementos inadequados (*“O sistema de referência é o sistema de sua volta”*) ao mesmo tempo em que temos um indício de que sua concepção esteja razoavelmente aceitável.

Nessa categoria apresentamos respostas que não nos fornecem elementos propícios para dizer se a concepção é correta a respeito de Sistema de Referência, pois carregam erros conceituais ou não expressam com clareza a idéia do aluno; entretanto, possuem pistas que nos levam a acreditar que o entendimento não é totalmente equivocado; portanto, essas respostas são consideradas parcialmente corretas e parcialmente explícitas.

4.2.1.1.3 Não explícitas

As respostas pertencentes a essa categoria são aquelas nas quais não é possível identificar o entendimento do aluno, uma vez que as informações estão dispostas de maneira a impedir a compreensão da idéia formulada. Ex: *“Sistema de referência pode-se dizer que é um grande referencial, ou seja, é um conjunto de partículas sendo que esse conjunto é utilizado como referencial”*. As respostas são vagas, não se referindo de maneira objetiva ao que foi perguntado: *“um ponto que é usado como referência para se determinar alguma coisa”*. São imprecisas, pois não são delimitadas, muito abrangentes, sem um foco definido: *“É um ponto utilizado como referencial de algum movimento.”* São respostas que não transmitem idéia alguma, pois são desprovidas de contexto, tornando-se sem sentido quando interpretadas pelo leitor: *“É um sistema que possui um referencial.”*

Esse conjunto de definições abarca respostas cuja interpretação se mostra impraticável, uma vez que é impossível atribuir significado ao texto escrito. Fazem ainda parte dessa categoria respostas que demonstram concepções totalmente equivocadas em relação ao conceito de Sistema de Referência. Assim sendo, as explicações pertencentes a essa categoria se traduzem em idéias não explícitas pelos alunos ou respostas não condizentes com a concepção científica do conceito.

4.2.1.2 Para a questão 1b, sobre Movimento Relativo

Esse conceito se mostrou de certa forma mais próximo da realidade dos alunos, pois suas respostas foram mais adequadas do que as anteriores. As categorias correspondem às respostas da seguinte maneira:

4.2.1.2.1 Explícitas

Novamente temos aqui respostas coerentes com os padrões acadêmicos e que expressam de forma clara uma concepção totalmente aceitável sobre Movimento Relativo.

Dentre essas temos as respostas que deixam clara a idéia de relatividade dos fenômenos, ou seja, só faz sentido falar em movimento se houver um referencial para analisá-lo; o movimento existe ou não levando-se em conta o ponto de vista adotado: “A

percepção de movimento é relativa e depende do referencial utilizado. Uma pessoa dentro de um avião vê a cadeira a sua frente parada, mas uma outra pessoa no chão vê o avião (junto com a cadeira e o passageiro) em movimento”.

Podemos apontar nessa categoria algumas respostas que, além de deixarem clara a idéia da relatividade do movimento, acrescentam ainda o entendimento de que a variação da posição em relação a um ponto fixo indica o estado de movimento: o movimento é relativo a um referencial quando sua posição muda em relação a esse referencial tomando-se um determinado tempo: *”Se está ocorrendo uma alteração na distância entre um corpo e um referencial, está ocorrendo um movimento que é relativo ao referencial”.*

4.2.1.2.2 Parcialmente Explícitas

As respostas dessa categoria apresentam elemento de erro ou uma idéia que não está muito compreensível, mas que não pode ser considerada totalmente errada, uma vez que possui pistas de uma concepção razoável, ainda que o estudante não seja capaz de expressá-la com propriedade.

Nessa categoria se encontram as respostas que descrevem o movimento de forma a deixar subtendido que o mesmo existe, independente da adoção ou não de um referencial: o movimento é absoluto, inerente a um ponto de vista ou à observação. Essa idéia não é de todo clara, uma vez que não é explicitada na linguagem. Fazemos inferências e, a partir delas, podemos perceber alguns elementos que nos dão indícios de que o aluno pensa em um referencial preferencial, mesmo sem ter essa consciência (ao considerar o movimento como absoluto subtende-se a adoção de um referencial preferencial): *“movimento relativo é aquele que se movimenta para um ponto de vista, mas em geral ele está parado”*; nesse exemplo podemos perceber que o aluno pensa ser uma “ilusão” o movimento, pois adota um referencial preferencial onde o objeto observado está parado. *“É um movimento que pode ser interpretado de maneiras diferentes dependendo do referencial”*. Constatamos nessa resposta a intenção do aluno em explicitar que ele entende movimento relativo como um único movimento (verdadeiro) que pode ser analisado de diferentes formas; nesse caso, o movimento existe, independente do referencial adotado. Não é uma resposta totalmente errada, pois considera a relatividade; mas o fato de adotar um referencial preferencial demonstra que sua concepção ainda não é a cientificamente correta.

4.2.1.2.3 Não explícitas

São respostas que não possuem coerência nas idéias, respostas equivocadas ou que ainda são difíceis de serem interpretadas, pois não apresentam de forma clara o entendimento do aluno: *“O movimento relativo é um movimento que tem várias variáveis de um determinado movimento.”*

Ainda nessa categoria o movimento ou fenômeno considerado nessas respostas é colocado de forma a nos demonstrar a idéia de que há uma mudança nesse movimento ou nesse fenômeno quando adotados referenciais distintos. Nesse aspecto, há a concepção errada de que o movimento ou fenômeno é diferente se adotados referenciais distintos: *“É o movimento que vai variar de acordo com o referencial. Por isso relativo.”* *“É o movimento que pode mudar a partir de diferentes pontos de referência.”*

As respostas dessa categoria são em sua grande maioria, vagas, sem foco ou indefinidas, confusas, que não são passíveis de interpretação ou que não fazem sentido: *“Depende de onde você está”*. Foram também categorizadas como não explícitas as respostas em que os alunos confessaram não saber explicar: *“Não tenho a menor idéia do que seja.”*

4.2.2 Categorias da Taxonomia Solo

Esse tipo de categorização está centrado nos elementos dos quais os alunos se fizeram valer para colocar em palavras seu entendimento. Nesse aspecto, o olhar se voltou para a estrutura das frases no sentido de estar identificando as palavras que correspondessem a um pensamento mais apoiado na realidade imediata ou em elementos não palpáveis, relativos a um patamar mais abstrato de raciocínio. Apesar de considerar a idéia expressa como um todo, esse tipo de categorização não se preocupa com a coerência total das respostas, uma vez que sua intenção é identificar se o aluno pensa em termos concretos ou abstratos em relação aos conceitos abordados.

Ainda que as respostas mais próximas do padrão acadêmico de definição tenham correspondência, geralmente, com a maneira mais formal de pensamento, elas não estão necessariamente nessa categoria, pois podem ser sucintas a ponto de não apresentarem elementos abstratos de raciocínio, estando, portanto, correta e explícita, mas não formal.

Ou seja, essa Taxonomia foi utilizada de forma a tentar extrair das respostas pistas que indiquem o grau de articulação do pensamento dos alunos no que se refere ao nível de abstração correspondente ao seu entendimento, se ele pensa em termos concretos ou relaciona os conceitos com outros conteúdos de maneira mais genérica e coerente. Para cada conceito descrevemos a seguir as associações realizadas.

4.2.2.1 Para a questão 1a, sobre Sistema de Referência

4.2.2.1.1 Modo Concreto

Ciclo 1: o foco é no movimento dos corpos

U1: unidimensional; as respostas têm o foco no movimento dos corpos, identificando o conceito de referencial ao único objetivo de análise desse movimento; são respostas curtas que não contêm outros elementos senão a referência ao movimento (*só movimento*). Ex: “*Um objeto está em movimento ou parado em relação a outro corpo.*”

M1: multidimensional; o foco ainda se encontra no movimento, mais essas respostas trazem outros elementos para associar ao movimento, na maioria das vezes a referência de ponto de vista ou observação. Às vezes não apresentam coerência (*foco no movimento com referência ao ponto de vista*). Ex: “*Sempre que você for olhar o movimento de algo tem que se determinar um referencial.*”

R1: relacional; são respostas que incorporam mais elementos estabelecendo relações entre eles e a questão do movimento; embora exista grande coerência, essas respostas ainda têm o foco no conceito de referencial como associado fortemente ao movimento dos corpos (*movimento + ponto de vista mais elaborado*). Ex: “*Sistema de referência nos indica o "ponto" em que estamos observando um movimento, por exemplo com o referencial na terra, podemos dizer que o Sol gira em torno da terra, mas se o referencial for o Sol, dizemos que a terra gira em torno dele.*”

Ciclo 2: o foco é no ponto de vista

U2: essas respostas indicam uma compreensão sobre sistema de referência mais associada a ponto de vista, mas são sucintas e com foco único (*foco no ponto de vista, somente*). Ex: “*É o ponto de vista de uma pessoa.*”

M2: incorporam novos elementos à compreensão de referencial como ponto de vista, mas podem apresentar certa incoerência (*ponto de vista mais algumas relações estabelecidas com outros elementos*). Ex: “*É ter algum ponto como referência, para a partir desse ponto observarmos os fenômenos que ocorrem.*”

R2: explicação mais detalhada do conceito com coerência entre as relações estabelecidas entre novos elementos incorporados (*ponto de vista + relações mais elaborado*). Ex: “*Sistema de referência é um ponto referencial que se usa para medir distâncias ou movimentos; um ponto de observação.*” “*Sistema de referência é o lugar onde observamos certos fenômenos e neste lugar estão incluídos pontos que convenientemente julgamos estar parados e pontos que julgamos estar em movimento.*”

4.2.2.1.2 Modo formal

Relação com a posição ou outros elementos

Uf1: indicam que a compreensão está em um nível mais abstrato de pensamento, mas o foco é somente em um ponto, seja relacionado a movimento ou ponto de vista. Ex: “*Para mim, sistema de referência é aquele ao qual fazemos a observação de algo. Referencial é o ponto do qual observamos algo, portanto este varia, pois podemos observar algo de vários pontos que nos permitem vários resultados diferentes.*”

Mf1: compreensão mais abstrata com novos elementos, sem foco específico; alguma incoerência pode ser encontrada. Ex: “*um lugar observado no espaço num determinado tempo, aonde constam um corpo a ser observado e um ponto escolhido para se observar tal corpo.*” “*Referência é usada para que o ponto de vista seja avaliado, seja levado em consideração. As respostas de um problema podem ser diferentes se mudarmos a referência, o ponto de vista.*”

Rf1: abstração mais elevada, com incorporação de elementos mais gerais, com coerência interna e relação entre os elementos. Ex: “*um ponto ou uma área que se considera com movimento e/ou energia nula passando os outros corpos ou partículas a ter movimento ou energia quando comparado a este.*”

P: respostas não interpretáveis do ponto de vista do modo concreto-simbólico ou do modo formal de pensamento. Ex: “*É um sistema circular*”; “*É uma observação física que tem referencial explicitado*”. “*Sistema que estuda as leis da mecânica visando pontos de vista diferentes.*”

4.2.2.2 Para a questão 1b, sobre Movimento Relativo

4.2.2.2.1 Modo concreto

Ciclo 1: realidade de movimento

U1: idéia de movimento absoluto; respostas mais sucintas e restritas, com o foco no movimento, deixando de maneira mais superficial a questão do referencial e relatividade; não há menção a outros elementos relacionados à relatividade do movimento; noção de mudança de movimento quando muda o referencial; algumas respostas apresentam erro ou incoerência entre algumas palavras, mas são inteligíveis, entretanto. Ex: *“É o movimento que um corpo faz em relação ao outro.”*

M1: idéia de movimento absoluto (realidade de movimento); apesar de o foco também ser o movimento, essas respostas são um pouco mais elaboradas em relação às anteriores e incluem o elemento de “ponto de vista” na explicação do conceito. Tem-se também a noção de que o movimento muda ao se mudar o referencial. Algumas apresentam erros e incoerência. Ex: *“é um movimento onde depende do ponto de onde é observado (ponto de referência) uma vez que o movimento é modificado quando observado de vários pontos”* *“É o movimento que é visto de diferentes formas de acordo com o referencial, ou seja, ele é relativo ao referencial.”*

R1: apesar de ainda apresentar a idéia de referencial preferencial, essas respostas são mais elaboradas e estabelecem relações mais concisas entre o ponto de vista e a relatividade do movimento; algumas apresentam erro físico, mas não incoerência. Ex: *“Movimento relativo quer dizer que o movimento varia dependendo de várias coisas como o tempo, a distância, o estado do corpo e principalmente o referencial e o ponto de vista do observador.”*

Ciclo 2: relatividade do movimento (com referência a imagens do mundo real)

U2: o que “salta aos olhos” é o foco na relatividade do movimento associado ao Sistema de Referência. Não há idéia de realidade de movimento. Ex: *“É o movimento que você vê de acordo com o sistema de referência.”*

M2: essa relação está também presente só que de forma mais elaborada e com incorporação de novos elementos; pode apresentar erros ou incoerência. Ex: *“o fato de que mudando o lugar de onde se observa um corpo, ele pode estar em movimento ou não, pode*

descrever um trajetória diferente, etc.” “Eu entendo que uma coisa pode estar ou não em movimento dependendo do ponto que você toma como referência, tornando o movimento relativo a alguma coisa.”

R2: ressalta a idéia de que, por causa da relatividade do movimento, não existe referencial preferencial. Ex: *“É o movimento de todos os corpos, já que o referencial pode ser escolhido arbitrariamente. Qualquer coisa que se move em relação a outra, por isso, se você está parado, você está em relação a alguma coisa.” “Todo movimento é relativo, depende de um referencia. Dois carros com a mesma velocidade e movimentando paralelamente parecem parados um em relação ao outro.”*

4.2.2.2.2 Modo Formal

Relação com a posição + relatividade do movimento: todo movimento é relativo

Uf1: idéia mais abstrata da relatividade do movimento, incorporando a concepção de mudança de posição como indicadora de movimento para um Sistema de Referência; o foco está nessa mudança de posição somente. Ex: *“Quando a posição entre dois pontos está variando um dos pontos possui movimento relativo em relação ao outro ponto.”*

Mf1: além de associar a mudança de posição à relatividade de movimento, essas respostas incorporam novos elementos como o tempo, por exemplo, se traduzindo em uma elaboração mais consistente do conceito. Ex: *“Movimento relativo quer dizer que o movimento depende do referencial. Assim para dizermos se um corpo está ou não em movimento, devemos fixar um referencial. Se em relação ao referencial, a posição do corpo se alterar durante um certo período de tempo, dizemos que o corpo movimentou.”*

Rf1: não foram encontradas respostas mais elaboradas que se encaixassem nessa categoria.

É importante ressaltar que essa categorização, embora tenha um padrão pré-estabelecido, foi feita de forma a relacionar a descrição das categorias na teoria com as idéias expressas nas respostas, ou seja, não havia, *a priori*, correspondência direta dos conteúdos das respostas com as categorias da Taxonomia SOLO. Sendo assim, ela exigiu uma interpretação dos pesquisadores no sentido de estar adequando as categorias às idéias sobre os conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo e se apoiou nas inferências realizadas com esse intuito.

P: respostas não interpretáveis do ponto de vista do modo concreto-simbólico ou do modo formal de pensamento. Ex: *“Deve ser quase a mesma coisa. Algo está em movimento dependendo de alguma coisa”*. *“É um movimento sem referencial”*. *“É um movimento que depende de alguns fatores, não é uniforme, constante.”*

4.2.3 Categorias de Explicitação X Taxonomia SOLO

As categorias de explicitação e da teoria SOLO possuem características em comum, mas diferem quanto ao objetivo e foco principal. Enquanto a primeira se concentra na resposta como um todo com o intuito de verificar a expressão do entendimento enquanto conteúdo, a outra procura identificar as associações e relações entre elementos utilizados pelos alunos para definirem os conceitos.

As de explicitação não se preocupam se o estudante tem a concepção como concreto ou não, se mais associado a ponto de vista ou mais próximo de um lugar; o que importa é se a afirmação está cientificamente correta e é inteligível, não apresentando elementos que se contradizem na resposta como um todo.

Já a Taxonomia SOLO se traduz em um sistema de categorização mais complexo, apoiado no significado atribuído aos conceitos: como ponto de vista, como local, apresenta realidade de movimento ou não, etc. Apesar de considerar como idéia mais abstrata aquela que se aproxima da concepção cientificamente aceita, o foco não está exatamente em identificar respostas corretas ou erradas e sim verificar a idéia que está por trás da explanação dada; se ela está mais próxima de uma concepção mais abstrata e abrangente ou se ela se encontra fortemente apoiada em elementos concretos, da realidade imediatamente perceptível.

Podemos dizer que as duas formas de categorizar as respostas de questões diretas possuem focos distintos, embora consigamos identificar algumas correspondências. Elas diferem tanto em relação aos aspectos gerais de interpretação das respostas como na maneira com que foram integradas à pesquisa: enquanto a categoria de explicitação surgiu na leitura dos dados brutos, a Taxonomia SOLO foi estabelecida a partir de um sistema de categorias cujas idéias centrais já estavam definidas *a priori*.

Para que tenhamos mais clareza em discernir as duas categorizações, nas TAB. 2 e 3 são apresentadas respostas categorizadas nas duas formas e o modo pelo qual foram analisadas.

TABELA 2 - Diferenças entre Categoria de Explicitação e Categoria Solo sobre Sistema de Referência

Resposta: questão 1a, de Sistema de Referência	Categoria de explicitação	Categoria SOLO
<i>É o sistema no qual você usará para fazer suas observações..</i>	Explicita Parcialmente: a resposta se apresenta incompleta.	U2: O entendimento está relacionado a ponto de vista.
<i>Sistema de referência é o ponto que é usado para se analisar o movimento de um corpo. O corpo pode ou não estar em movimento de acordo com o sistema de referência usado.</i>	Explicita Parcialmente: não está clara a idéia que o aluno tem a respeito de Sistema de Referência.	R1: estabelece relações entre o estado de movimento e repouso, mas se focaliza somente no movimento para explicar o conceito.
<i>Criar um ponto absoluto na tentativa de relacionar situações ao mesmo tempo. Mas lembrando que mesmo absoluto é relativo!</i>	Explicita Parcialmente: não há como inferir que o aluno pensa de acordo com a definição cientificamente correta através dessa resposta.	UF1: podemos perceber aqui indícios de um pensamento formal, uma vez que o aluno reconhece que tudo é relativo, que não existe um referencial preferencial.

Podemos perceber que para uma mesma categoria de explicitação tivemos três categorias distintas da Taxonomia SOLO, pois os parâmetros de uma e de outra não são os mesmos. Da mesma forma, se tomarmos respostas cuja categoria é semelhante na SOLO, teremos diferença em relação a de explicitação:

TABELA 3 - Diferenças entre Categoria de Explicitação e Categoria Solo sobre Movimento Relativo

Resposta: questão 1b, de Movimento Relativo	Categoria de explicitação	Categoria SOLO
<i>É o movimento que pode mudar a partir de diferentes pontos de referência.</i>	Não explicita: a resposta está incorreta, uma vez que o fenômeno em questão é variável.	U1: o foco da resposta está na idéia da existência de um movimento absoluto.
<i>É o movimento de algo em relação a um ponto ou objeto ou qualquer coisa.</i>	Explicita parcialmente: não está clara a idéia que o aluno tem a respeito de Sistema de Referência.	U1: existe a mesma idéia de realidade de movimento.
<i>É o movimento que um corpo ou sistema de referência tem em relação a outro.</i>	Explicita: há a idéia correta de ponto de vista.	U1: o movimento existe, independente da referência.

Enquanto no primeiro modo de categorizar a intenção estava centrada em identificar a capacidade do aluno de expressar seu entendimento, na outra forma o interesse estava nas relações que o mesmo estabelecia com outros conceitos, com outras situações e com diferentes contextos. A formalização do pensamento na Taxonomia SOLO se refere

mais à forma de expressar o pensamento, tendo o foco nas articulações realizadas ao fazê-lo. As categorias de explicitação se detiveram em algo mais simples: a capacidade de colocar em palavras o entendimento. O que foi comum às duas maneiras de categorizar é a forma de analisar as respostas consideradas corretas pelos padrões científicos; mas mesmo nesse aspecto, elas possuem divergência: enquanto a Taxonomia SOLO considera respostas com elementos de erro nos diferentes modos e níveis (com exceção do nível relacional), a outra leva em conta respostas explícitas somente aquelas que não apresentam erro algum. Dessa forma, podemos dizer que uma se detém nos aspectos referentes às relações que o estudante faz do conceito com outros elementos (contextos, conteúdos, etc), quando levado a expor seu entendimento, e a outra na forma como se remete à maneira pela qual o entendimento é exposto.

4.2.4 Validação das Categorias

A procura pela fundamentação mais precisa das categorias utilizadas nessa pesquisa nos levou à tentativa de formular métodos que nos permitissem maior acuidade para interpretar os dados e resultados. Por isso, tentamos validar os dois tipos de categorias através da submissão de algumas das respostas a juízes; entretanto, essa validação não foi possível de ser realizada. Os aspectos gerais da validação são descritos:

- Categorias SOLO

Por se remeterem a uma teoria sistematizada, essas categorias não podem facilmente ser submetidas à validação por juízes, uma vez que para analisar as respostas do ponto de vista da Taxonomia SOLO o juiz deve ter familiaridade com os construtos teóricos subjacentes. Por essa e outras limitações (como tempo e escassez de pessoas conhecedoras da teoria), optamos por não realizar a validação.

- Categorias de Explicitação

Uma vez que se direcionam para a adequação das respostas ao ponto de vista academicamente aceito, essas categorias podem ser identificadas por professores que não são necessariamente familiarizados com pesquisa educacional. Elas foram estabelecidas como “corretas” (explícitas), “parcialmente corretas” (parcialmente explícitas) ou

“incorretas” e, assim sendo, puderam ser atribuídas às respostas por juízes (professores do Ensino Médio).

A forma de verificar nossa categorização nesse parâmetro foi submeter um conjunto de respostas dos alunos a 20 professores para julgarem o grau de explicitação de acordo com critérios por nós elaborados. A validade dessa categorização seria estabelecida então em termos da concordância dos julgamentos dos professores em relação às respostas dos alunos com o nosso julgamento em relação às mesmas.

A maioria dos professores que avaliaram as respostas foram docentes experientes em relação à vivência do magistério em Física e, portanto, é admissível considerar os julgamentos como bastante plausíveis para validar a categorização realizada.

Todavia, ao realizar a análise dos questionários respondidos por esses professores não conseguimos obter resultados suficientemente confiáveis para tirarmos conclusões a respeito da validade das categorias. Embora tivéssemos uma aparente concordância dos professores em geral com nosso sistema de categorias, essa concordância não foi muito significativa em alguns dos testes que realizamos. É possível levantar conjecturas para explicar os resultados, mas teríamos que extrapolar muito o tema da dissertação para investigar o assunto. Sendo assim, optamos por não expor a validação, uma vez que se o fizéssemos poderíamos nos apropriar de algum modelo enviesado ou utilizar algum artefato metodológico.

Não apresentamos validação de nenhum dos sistemas de categorias, pois não encontramos a situação propícia para fazê-lo com a Taxonomia SOLO e não tivemos respaldo estatístico considerável para validar as categorias de explicitação. Temos consciência de que isso retira o “poder de convicção” de nossos resultados, mas julgamos ser esse um procedimento prudente.

4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA

A amostra utilizada para a análise relatada nessa investigação se constituiu em 417 questionários, aplicados aos alunos do Ensino Médio de uma escola pública Federal.

Algumas decisões foram tomadas em virtude da não adequação de determinados itens do questionário, bem como de respondentes. Esse fato foi identificado a partir de uma análise estatística preliminar. Dessa forma, dos 417 respondentes, 48 acertaram todos os itens de verdadeiro ou falso e, assim, não tivemos como identificar sua proficiência; foram,

portanto, excluídos da amostra, sendo essa reduzida para 369 questionários. Os itens 8 e 12 das questões verdadeiro ou falso também foram excluídos, como já justificado anteriormente.

A seguir apresentamos um tópico sucinto para esclarecer os testes estatísticos utilizados, seguidos pela análise de acordo com as hipóteses levantadas.

4.3.1 Testes estatísticos

Definido o modelo estatístico de tratamento dos dados de proficiência (modelo de 3 classes latentes), foi necessário tomar decisões acerca dos testes estatísticos mais apropriados aos objetivos da pesquisa.

Uma vez que a intenção está em estabelecer relações entre grupos de proficiência, séries, categorias de explicitação e categorias SOLO, todas variáveis categóricas, os testes não paramétricos¹² de associação foram adotados.

Os testes estatísticos em geral fornecem um número (p,z,f, por exemplo) que é comparado com um determinado valor crítico, a partir do qual se diz que houve ou não significância estatística. O nível de significância determina a precisão dos resultados e varia conforme as decisões e intenções do pesquisador. Geralmente, adota-se como significativamente relevante resultados que indicam 95% de precisão.

A análise estatística se baseia na premissa de que os resultados de uma pesquisa podem ser devidos a dois fatores:

- 1- existe um elemento responsável por causar diferenças;
- 2- as diferenças encontradas são devidas ao acaso.

A partir desses pressupostos, procura-se a probabilidade de se encontrar diferenças devido ao acaso, sendo essa probabilidade fornecida através do número correspondente ao tipo de estatística utilizada (cada tipo pressupõe uma distribuição populacional específica).

¹² Os testes paramétricos são aqueles realizados quando há simetria da amostra em relação à distribuição da população, sendo homogêneas as variâncias, independentes os erros e aditivos os fatores de variação; o histograma de frequências, nesse caso, terá um contorno que seguirá aproximadamente o desenho em forma de sino da curva normal. Entretanto, esses pressupostos não foram encontrados em nossa amostra de dados e, apesar do teste não paramétrico não ser tão poderoso como o paramétrico em termos de interpretação dos resultados, ele foi o mais adequado. Suas vantagens são: poucos pressupostos são necessários em relação à população, é aplicável em situações não abrangidas pela normal e são mais eficientes quando a população não tem distribuição normal, como no nosso caso.

Se essa probabilidade for maior do que o nível de significância inicialmente definido, o acaso é responsável pelo resultado; do contrário a responsabilidade pelas diferenças é atribuída à variável testada.

4.3.1.1 Teste de Hipóteses

A análise estatística se detém em fazer distinções entre resultados devido ao acaso ou a um motivo (variável) específico. Nesse sentido, podemos formular hipóteses sobre os elementos pesquisados, com o intuito principal de investigar se uma variável específica interfere nas diferenças encontradas dos resultados.

O teste de hipótese é o mais generalizado instrumento de inferência estatística, tendo aplicações em variados setores das ciências naturais e sociais (FONSECA e MARTINS, 1978). Ele se refere à formulação de conjecturas ou suposições em relação à população a ser testada. Essas suposições, que podem ser ou não verdadeiras, são denominadas “hipóteses estatísticas” e, em geral, consistem em considerações acerca das distribuições de probabilidade das populações.

Assim, ao realizar um teste estatístico a fim de comprovar uma suposição é necessário formular duas hipóteses para que, ao realizar o teste, uma delas (a hipótese nula) seja rejeitada ou aceita em um certo nível de significância. De forma geral, temos que:

A hipótese nula H_0 é uma afirmação que diz que o parâmetro populacional é tal como especificado (isto é, a afirmação é verdadeira).

A hipótese alternativa H_1 é uma afirmação que oferece uma alternativa à alegação (isto é, a afirmação é falsa).

Se uma hipótese for rejeitada quando deveria ser aceita, dizemos que foi cometido um erro tipo I; se ela foi aceita quando deveria ser rejeitada, foi cometido um erro tipo II. Em ambos os casos ocorreram uma decisão ou julgamento errôneos.

Para que qualquer teste de hipóteses seja adequado, devemos planejá-lo a fim de minimizar os erros de decisão, o que não se constitui em tarefa simples, uma vez que a tentativa de diminuir um certo tipo de erro é acompanhada, em geral, pelo acréscimo do outro tipo. Em relação à pesquisa feita, um tipo de erro pode ser mais importante do que outro; sendo assim, devemos procurar uma melhor forma de análise que favoreça a limitação do erro mais sério. Uma alternativa para minimizar os dois tipos de erros é aumentar o tamanho da amostra, o que pode ou não ser viável.

Assim, o teste de hipóteses é realizado a partir de: a) da definição das hipóteses estatísticas; b) da determinação dos testes estatísticos; c) da seleção do nível de significância.

A probabilidade “p” define o nível de significância estatística¹³. Os testes de significância objetivam decidir se determinada afirmação sobre um parâmetro populacional é verdadeira. As provas estatísticas medem sempre a probabilidade “p” de as diferenças encontradas serem devidas ao acaso, partindo do pressuposto de que na verdade não existem diferenças na população. Se a probabilidade encontrada for pequena, teremos mais confiança em afirmar que há diferenças na variável testada. Na prática, é usual a adoção de um nível de significância de 0,05. Ou seja, quando encontramos probabilidades inferiores a 5% (há menos de 5 possibilidades de ocorrência em 100 casos), temos diferenças significativas do ponto de vista estatístico. Isso significa dizer que a hipótese nula é rejeitada no nível de significância de 0,05: a probabilidade de erro seria de 5%. O teste de hipóteses foi realizado nas duas formas de análise estatística aqui relatadas.

4.3.1.2 Teste ANOVA

É um teste de hipóteses que permite conhecer o efeito que um determinado fator tem sobre a variável em estudo; nos fornece a probabilidade dos grupos testados terem médias (obtidas a partir de uma variável contínua) iguais ou diferentes.

Dessa forma, a hipótese nula é de que não existem diferenças entre as médias dos grupos amostrais testados, sendo que um valor de “p” inferior a 0,05 nos leva a rejeitar essa hipótese. O teste ANOVA possui alguns pressupostos teóricos que devem ser seguidos para que haja maior confiança nos resultados:

- 1- A variável independente pode ser quantitativa ou qualitativa (por exemplo, os grupos de proficiência);
- 2- a variável dependente é contínua (por exemplo, os valores da proficiência de cada estudante);
- 3- a escolha dos dados é aleatória;
- 4- a média real e o desvio padrão real devem ser desconhecidos;

¹³ Parâmetro que serve para verificar se a amostra difere, de modo significativo, dos resultados esperados; ele expressa a probabilidade de rejeitar a hipótese de nulidade quando ela é verdadeira.

- 5- os desvios padrões dos diferentes grupos devem ser iguais (homogeneidade da variância);
- 6- a distribuição da variável contínua é normal.

Utilizamos o ANOVA, pelo programa SPSS, para verificar se os grupos de proficiência obtidos a partir da separação de classes, feita pelo mesmo programa, possuíam diferenças de médias significativas. O intuito era o de nos certificar de que obtivemos grupos amostrais realmente distintos quanto ao nível de desempenho nas questões de verdadeiro ou falso.

4.3.1.3 Teste de Associação

Esse tipo de análise estatística estabelece ou quantifica o grau de associação entre variáveis. A associação é expressa em termos de coeficientes (que são específicos da estatística utilizada), cujos valores variam de zero (ausência total de associação) a 1 (associação total positiva) ou -1 (associação total negativa).

A análise de associação também pode ser realizada pelo teste de hipóteses. Utilizamos o programa StatXact, para fazer as medidas de associação, em que, para cada medida, obtemos:

- 1- O valor pontual estimado para a medida de associação¹⁴;
- 2- Seu erro padrão assintótico;
- 3- Seu intervalo de confiança assintótico;
- 4- Os valores assintóticos de p ¹⁵ (two-sided e one-sided) que testam a hipótese nula da medida de associação ser igual a zero;
- 5- Os valores verdadeiros de p (possível através do cálculo exato ou por simulação pelo método Monte Carlo) para testar a hipótese nula.

Todas as medidas de associação realizadas nessa pesquisa são obtidas através de uma tabela de contingência¹⁶ ou dupla entrada. Essa tabela $l \times c$ (linha *versus* coluna) é

¹⁴ Estimado pelo MLE (*Maximum Likelihood Estimation*)

¹⁵ Os valores de p baseados no pressuposto de se ter uma grande amostra é conhecido como valor assintótico de p , enquanto o valor baseado na verdadeira distribuição da amostra é o valor exato de p . O termo “assintótico” significa “dado uma amostra de tamanho suficiente”. Dessa forma, quando temos uma amostra grande, os valores assintótico e exato de p se aproximam. A vantagem de se utilizar o valor assintótico é que ele é mais fácil de ser calculado porque se refere a uma equação matemática mais simples.

formada por N observações que são classificadas simultaneamente nas duas categorias representadas na linha e coluna, com elemento x_{ij} pertencente à categoria da linha i e da categoria da coluna j . Esse tipo de tabela surge naturalmente ao se analisar dados categóricos.

Para estimar cada medida de associação, bem como determinar o intervalo de confiança, é utilizada a teoria da estimação máxima de probabilidade (MLE). A associação entre as variáveis é primeiramente obtida por um parâmetro M , que indica o grau de associação (positiva, negativa ou nula) entre a variável representada na coluna e a variável representada na linha. Os valores de p , que determinam a aceitação ou não da hipótese nula (de que não existe associação) são definidos em termos do valor do parâmetro M .

Para obter o valor da estatística M , no StatXact, podemos optar por três métodos: o que estima apenas o valor assintótico de M , o cálculo exato de M e a estimativa de M pelo método Monte Carlo, no qual M é estimado em um experimento de simulação. O método de Monte Carlo permite estimar M tão próximo do valor exato quanto o necessário. Para isso, basta aumentarmos o número de amostragens a serem feitas, sendo o padrão 10.000. Tanto o Método de Monte Carlo quanto o cálculo de M por algoritmos exatos são vantajosos em relação ao valor assintótico, porque ambos se baseiam na distribuição estatística exata de M e não em uma aproximação assintótica para essa distribuição. Nesse trabalho, o cálculo exato foi impossível em vários testes, em virtude das limitações dos recursos computacionais e dos algoritmos de cálculo. Optamos, então, para manter uniformidade do tratamento, utilizar em todos os cálculos o método Monte Carlo.

Os testes estatísticos utilizados foram:

- O teste Jonckheere-Tersptra: Pode ser usado para testar a independência de variáveis representadas nas linhas e colunas de uma tabela de contingência na qual tanto as linhas como as colunas possuem uma ordem natural. É tipicamente usado para comparar grupos de populações representadas nas linhas, obtidos a partir de diferentes níveis de uma variável quantitativa; através dessa variável quantitativa, cada grupo formado contém sujeitos cujas respostas quantitativas podem ser classificadas em distintos níveis de respostas representados pelas colunas. Quando representadas na tabela, as linhas indicam os grupos e as colunas representam as

¹⁶ O termo “contingency table” se refere ao fato de que as tabelas construídas são usadas para testar a existência de relações entre duas variáveis.

categorias de respostas. Esse teste foi adequado para verificarmos a associação entre os grupos de proficiência e os diferentes grupos de categorias (categorias de explicitação, Taxonomia SOLO, série), pois todas carregavam uma ordenação de valores natural. Através dele e utilizando o método Monte Carlo, testamos a hipótese nula de não associação, encontrando os valores assintóticos de p em cada teste realizado.

- O teste de Cochran-Mantel-Haenszel para tabelas de dupla entrada, $l \times c$, duplamente ordenada e estratificada: Testa a igualdade de duas proporções binomiais. Utilizamos esse teste para verificar as relações entre três variáveis ao mesmo tempo, pois o teste Jonckheere-Tersptra nos possibilita comparar somente duas categorias de cada vez.

Assim, para a análise dos dados, que foram todos categóricos, utilizamos diferentes testes estatísticos. Em todos eles lidamos com o teste de hipóteses, que nos fornece um número estatístico referente à probabilidade das diferenças serem devidas ao acaso em um certo nível de significância, definido aqui em 5%. Utilizamos o teste ANOVA no programa SPSS para testar diferenças entre os grupos de proficiência e os testes de associação não paramétricos de Jonckheere-Tersptra e Cochran-Mantel-Haenszel no StatXact para verificar a relação entre as variáveis. Nesse último programa utilizamos a método Monte Carlo (em ambos os testes) para computar os valores de p .

4.3.2 Os estudantes sabem mais do que conseguem dizer?

Admitindo-se que o entendimento sobre determinado conceito se manifesta quando o mesmo é utilizado para resolver certos problemas, consideramos que a concepção de estudantes do Ensino Médio sobre Sistema de Referência e Relatividade de Movimento pode ser mensurada através da habilidade que eles apresentam em lidar com questões onde devem aplicar esses conceitos, ao invés de apenas declará-los verbalmente ou por escrito. Assim, temos como pressuposto que as performances específicas na solução de problemas são evidências de um entendimento que está no ato de fazer, de saber utilizar o conceito em situações específicas.

Ao mesmo tempo, acreditamos que o conhecimento formal se estabelece de forma a propiciar uma melhor articulação do conceito apreendido. Isso quer dizer que, embora o

saber explicitar não seja determinante para a mobilização de um conceito em situações problemáticas, ele é um indício de que o pensamento está em um patamar mais formal, pois para saber expor de forma clara e coerente uma idéia é preciso que as associações já tenham sido estabelecidas de maneira mais consistente, em um nível superior ao das palavras; portanto, quanto mais elaborada e inteligível uma explanação, mais formalizado se encontra o entendimento do conceito abordado.

4.3.2.1 Os alunos conseguem fazer mais do que dizer

“Não só os alunos, qualquer pessoa, muitas vezes, é incapaz de colocar em palavras coisas que faz muito bem, conhecimentos que tem. Há um hiato, entre a formalização e a ação.” (MOREIRA, 2002)

Ao colocarmos os estudantes frente a questões em que foram solicitados a verbalizar, na escrita, seus entendimentos sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência, constatamos uma grande dificuldade apresentada pela maioria, principalmente em relação ao segundo tema. Esse fato pode ser compreendido tomando-se como base o ensino desses conceitos: enquanto o primeiro na maioria das vezes é abordado de forma explícita e definido conceitualmente nos livros didáticos e pelo professor, o segundo geralmente só é mencionado e ensinado em meio à resolução de exercícios, de exemplos ou na articulação do professor quando está explicando outros fenômenos. Dessa forma, o aluno tende a definir conceitualmente com mais facilidade Movimento Relativo, enquanto apresenta uma certa deficiência em explicitar o que entende por Sistema de Referência (BORGES e AMANTES, 2004).

Ao analisar a performance desses alunos nas questões em que tinham que mobilizar esses conceitos para resolverem situações problemáticas específicas, verificamos que a maioria apresentou uma alta proficiência, o mesmo sendo constatado em termos de escore.

Como mostra a TAB. 4, o índice de alunos que não explicitam ou que explicitam parcialmente, em ambas as questões, é muito superior ao índice dos que conseguem explicitar de forma coerente e inteligível os conceitos. Ainda na TAB. 4, constatamos maior dificuldade em expor o conceito de Sistema de Referência do que o de Movimento Relativo, pois além da porcentagem da primeira categoria ser maior para esse último conceito, a segunda categoria apresenta um índice superior para o outro, demonstrando que, apesar de apresentar um certo entendimento, as articulações não estão formalizadas de maneira a possibilitar uma explanação consistente.

TABELA 4 - Frequência de alunos nas categorias de explicitação nas questões 1a e 1b

	Sistema de Referência (q1a)		Movimento Relativo (q1b)	
	Número de alunos	Porcentagem	Número de alunos	Porcentagem
Explicitam	55	14,9 %	93	25,2 %
Explicitam parcialmente	175	47,4 %	140	37,9 %
Não explicitam	139	37,7 %	136	36,9 %
Total	369	100 %	369	100 %

TABELA 5 - Frequência de alunos nos grupos de proficiência

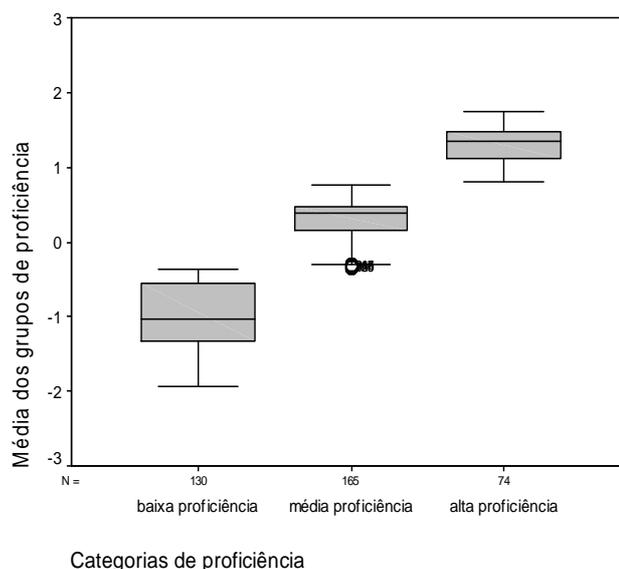
Q4/Q5	Número de alunos	Porcentagem
Alta proficiência	74	20,1%
Média proficiência	165	44,7%
Baixa proficiência	130	35,2%
Total	369	100%

A TAB. 5 apresenta a porcentagem de alunos de acordo com sua proficiência; ela foi obtida separando-se a amostra em três grupos: de alta, baixa e média proficiências, utilizando o programa SPSS com iteração¹⁷ entre os grupos.

Essas categorias apresentaram, pelo teste ANOVA, homogeneidade das variâncias e diferença significativa entre as médias da proficiência, comparando-se cada par de categorias.

Assim, se tomarmos os grupos separadamente, cada um vai apresentar uma média de proficiência distinta, com mostra o GRAF. 26. Podemos perceber, nesse gráfico, que a mediana de cada grupo possui valores com diferenças significativas, o que nos permite afirmar que as categorias são realmente distintas em relação ao nível de proficiência.

¹⁷ O programa SPSS nos permite fazer a separação de grupos em uma amostra, a partir de uma variável quantitativa, de acordo com as médias. Essa separação pode ser realizada de duas formas: com iteração entre os grupos formados e sem iteração. No primeiro caso o programa separa valores muito distantes (cuja quantidade depende do número de categorias que se deseja formar) em uma escala e faz sucessivas aproximações, chegando a um valor central e separando os grupos conforme a proximidade dos valores centrais de cada grupo formado. No segundo caso ele separa o grupo a partir do estabelecimento de limites de valores. Em ambos procedimentos chegamos a uma separação cujas médias foram significativamente diferentes. Optamos por trabalhar com a separação com iteração por ela estabelecer relações entre os elementos de cada grupo, sem somente delimitar posições a partir dos valores, como no outro caso.

GRÁFICO 26: Média das categorias de proficiência

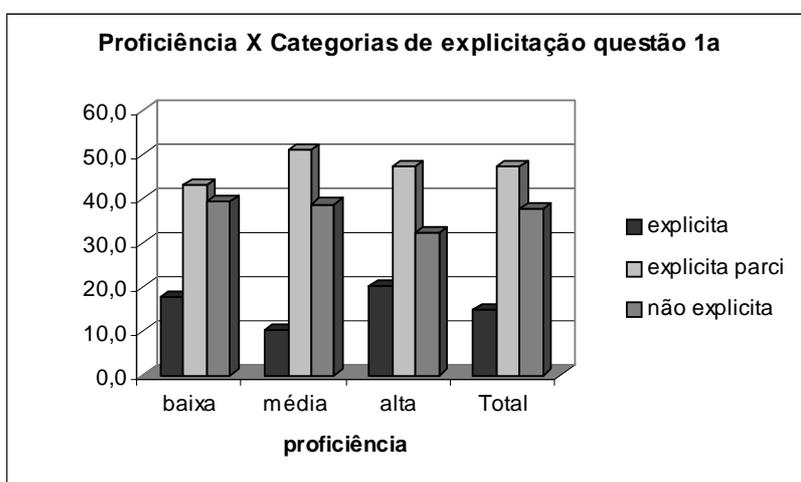
Ao separar os grupos de proficiência, temos que a porcentagem de alunos com média e alta proficiência supera o índice de alunos com baixa proficiência; isso nos leva a crer que os mesmos conseguem lidar eficazmente com questões de resolução de problemas, uma vez que essas proficiências foram obtidas a partir das questões de verdadeiro ou falso.

Analisando a proficiência de acordo com o nível de explicitação, ou seja, observando-se a frequência das respostas das categorias de proficiência em cada uma das categorias de explicitação, temos a TAB. 6 e o GRAF. 27. Cada célula da tabela contém o número total de alunos de duas categorias representadas pela linha e coluna (categoria de proficiência e de explicitação, respectivamente) com as frequências em relação às categorias da coluna (de explicitação).

Podemos perceber que há uma tendência geral dos alunos de toda a faixa de proficiência em explicitar parcialmente o conceito de Sistema de Referência, não havendo diferença relevante nesse nível de explicitação das respostas dos diferentes grupos de desempenho. Parece haver um aumento da porcentagem de alunos de alta proficiência em explicitar mais eficazmente esse conceito; entretanto, a diferença para o grupo de baixa proficiência não é significativa.

TABELA 6 - Proficiência X Categorias de Explicitação – Sistema de Referência

			Categoria de Explicitação			Total
			não explicita	explicita parcialmente	explicita	
Proficiência alta	n°		24	35	15	74
	%		32,4%	47,3%	20,3 %	100 %
média	n°		64	84	17	165
	%		38,8%	50,9%	10,3%	100%
baixa	n°		51	56	23	130
	%		39,2%	43,1%	17,7%	100%
Total	n°		139	175	55	369
	%		37,7%	47,4%	14,9%	100%

GRÁFICO 27: Porcentagem das Categorias de Explicitação em cada Categoria de Proficiência para o conceito de Sistema de Referência

Fazendo-se o teste de associação entre essas categorias, pudemos constatar que não há, realmente, relação entre o desempenho nas questões procedimentais e a capacidade de explicitação na questão conceitual de Sistema de Referência. O valor de p no teste Jonckheere-Terpstra foi de 0,5512 ($J = 0,6208$), o que nos faz aceitar a hipótese nula de que a medida de associação entre as duas variáveis testadas é igual a zero. Isso quer dizer que não há associação, na questão 1a, entre as categorias de explicitação e as categorias de proficiência.

Não há efeito do ato de explicitar na resolução de problemas; o fato de conseguir colocar em palavras o entendimento não influencia, para esse conceito, na capacidade em lidar com situações problemáticas em que o mesmo deve ser mobilizado. Não há diferença entre o desempenho dos alunos que explicitam coerentemente seu entendimento dos que explicitam parcialmente e dos que não explicitam, demonstrando que, para o conceito de

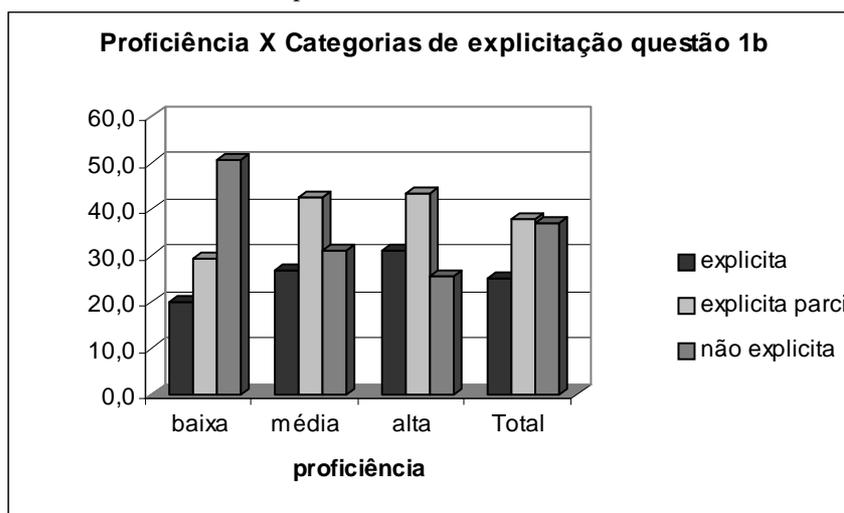
Sistema de Referência, parece não haver correspondência entre o saber fazer e o saber dizer, um não interfere no outro.

Para o conceito de Movimento Relativo, de acordo com a TAB. 7 e o GRAF. 28, percebemos um acréscimo na capacidade de explicitação nos grupos de alta e média proficiência, sendo que o de baixa apresenta a maioria das respostas no grupo de não explícita. Esse resultado nos leva a crer que os alunos que não conseguem explicar seu entendimento não dominam realmente esse conceito, mesmo em termos procedimentais. Entretanto, os que têm alto e médio desempenho nas questões operativas parecem ter uma maior facilidade em expor sua compreensão.

TABELA 7- Proficiência X Categorias de Explicitação – Movimento Relativo

		Categoria de Explicitação			Total
		não explícita	explícita parcialmente	explícita	
Proficiência alta	n°	19	32	23	74
	%	25,7%	43,2%	31,1%	100%
média	n°	51	70	44	165
	%	30,9%	42,4%	26,7%	100%
baixa	n°	66	38	26	130
	%	50,8%	27,1 %	20,0 %	35,2 %
Total	n°	136	140	93	369
	%	36,9%	37,9%	25,2%	100%

GRÁFICO 28: Porcentagem das Categorias de Explicitação em cada Categoria de Proficiência para o conceito de Movimento Relativo



Fazendo-se o teste de associação, também pelo teste Jonckheere-Terpstra, contamos um valor de 0.0003 para p ($J = 3,604$), o que nos leva a rejeitar a hipótese nula

de associação igual a zero. Portanto, para a questão 1b identificamos associação entre as categorias de explicitação e proficiência.

Para Movimento Relativo, que é abordado de maneira mais explícita, o entendimento sobre ele pode ser identificado na performance em questões conceituais, pois os alunos que o conceituaram coerentemente ou parcialmente tiveram uma alta proficiência nas questões de resolução de problemas. Isso significa que para esse conceito, cuja definição está próxima de elementos mais vivenciados pelos alunos, saber explicitá-lo, mesmo com elementos que não apresentam total coerência, parece ser determinante no entendimento, uma vez que a maioria dos alunos de baixo desempenho não demonstra capacidade em expor sua compreensão.

O fato de haver diferença entre os grupos de proficiência em relação aos que explicitam e explicitam parcialmente pode ser devido à dificuldade de expressar o entendimento, pois as articulações para fazê-lo podem não ser ainda suficientes ou não serem consistentes o bastante para possibilitar uma exposição inteligível do pensamento. O entendimento, nesse caso, não está formalizado, mas sim apoiado em elementos mais concretos, por isso se torna de difícil explicitação. Isso não interfere na resolução de problemas utilizando o conceito, pois mesmo que não consigam definir de forma clara Movimento Relativo, os alunos que explicitam parcialmente lidam tão bem com as questões de resolução de problemas quanto os que conseguem explicitar coerentemente o conceito.

Esses resultados apontam para a compreensão de que o entendimento sobre um conceito pode se apresentar de maneira a permitir a utilização desse conceito em situações específicas, mesmo que sua definição não esteja totalmente formalizada.

4.3.2.2 Saber explicitar é um indício de que o entendimento está mais fortemente consolidado

Embora definir conceitualmente Sistema de Referência e Movimento Relativo não seja determinante para que os alunos consigam resolver problemas propostos de acordo com situações específicas, a explicitação desses conceitos pode fornecer pistas de como eles são concebidos pelos estudantes, ou seja, o nível de formalização do pensamento. Acreditamos que, ao conseguir verbalizar um conceito de forma clara, inserindo-o no contexto esperado e estabelecendo as relações necessárias, o estudante está manifestando

um entendimento que extrapola só o saber fazer, pois ele demonstra conceber esse conceito de maneira mais abstrata e consistente.

Ao investigar a predominância de alunos pertencentes às categorias explícita, parcialmente explícita e não explícita nos grupos de alta, baixa e média proficiência das questões 1a e 1b, obtivemos os resultados demonstrados pelos GRAF. 29 e 30.

Para a questão 1a, sobre Sistema de Referência, percebemos que não há um padrão para o nível de explicitação dos grupos de alta, baixa e média proficiência. Ainda que acreditemos ser a verbalização um indício da formalização do pensamento, para esse item não foi possível, com esse método, identificar os elementos que nos permitissem verificar a correspondência entre essas duas categorias. Pelo GRAF. 29, comprovamos que tanto os alunos de alta, baixa e média proficiências se encontram em sua maioria nas categorias não explícita e parcialmente explícita, tendo pouca representatividade na explícita. Não há diferença entre as respostas dos alunos de alta proficiência para os de baixa proficiência quanto ao nível de explicitação, enquanto podemos dizer que os de média proficiência têm a tendência de explicitar parcialmente o conceito. Esse resultado também foi obtido, de maneira diferente, na seção anterior.

GRÁFICO 29: Porcentagem dos alunos de alta, média e baixa proficiência de acordo com o nível de explicitação da Questão 1a

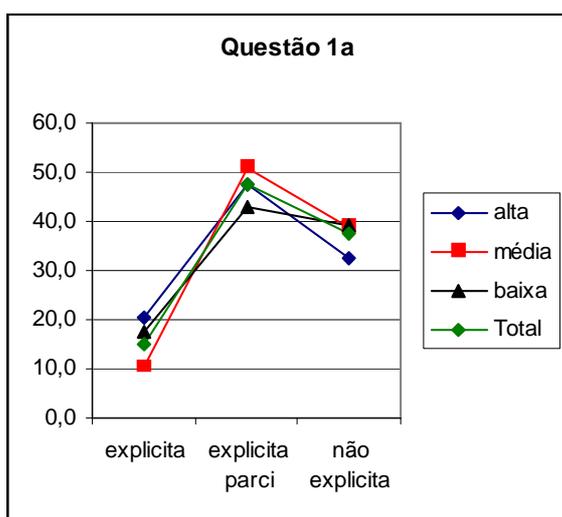
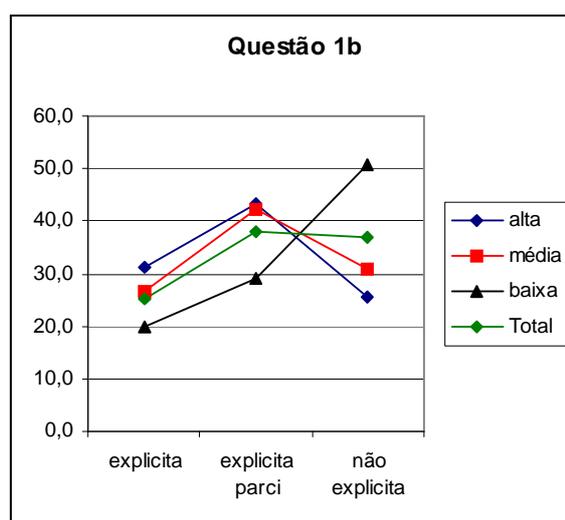


GRÁFICO 30: Porcentagem dos alunos de alta, média e baixa proficiência de acordo com o nível de explicitação da Questão 1b



Para a questão 1b, averiguamos que a maioria dos alunos de baixa proficiência se encontra na categoria de não explícita, enquanto os de alta e média proficiência apresentam uma porcentagem maior na categoria explícita. Embora tenhamos um índice elevado de

alunos de alta proficiência na categoria de não explícita (25,7%), ela representa o menor índice, pois temos maior porcentagem na categoria explícita (31,1%) e explícita parcialmente (43,2%). Em contrapartida, observamos que, para os alunos de baixa proficiência, há um decréscimo na porcentagem de alunos quanto ao nível de explicitação: o maior índice dos alunos desse grupo está na categoria de não explícita (50,8%), seguido do índice da categoria explícita parcialmente (29,2%) e finalmente da explícita (20,0%). O grupo de média proficiência segue um padrão semelhante ao de alta proficiência.

Esses resultados podem ser interpretados tomando-se como parâmetro a natureza dos conceitos abordados e a maneira como são apresentados no Ensino Médio. Apesar de ambos necessitarem de um certo nível de abstração para serem compreendidos, Movimento Relativo é mais facilmente apreendido por ter referência imediata em situações mais facilmente concebidas. É um conceito definido com mais propriedade nos livros didáticos, além de corresponder a fenômenos cuja identificação é realizada de maneira mais direta. Sistema de Referência, embora seja um conceito fortemente arraigado ao de Movimento Relativo, exige um esforço maior para ser compreendido, uma vez que depende da capacidade de abstração para conceber em um outro patamar elementos que não possuem correspondência com a realidade imediatamente perceptível. Nos livros didáticos geralmente não é definido conceitualmente, mas sim abordado em exemplos e exercícios, ou até mesmo no texto de forma mais superficial. Isso nos leva a crer que tal conceito possui uma dificuldade maior para ser entendido e, conseqüentemente, verbalizado, sendo necessário um instrumento mais preciso para identificar o entendimento.

Sendo assim, podemos dizer que nossos resultados nos dão margem para discutir como o nível de explicitação tem relação com o entendimento no que se refere ao conceito de Movimento Relativo, não sendo possível concluir o mesmo para Sistema de Referência.

Constatamos a relação entre o saber explicitar e o saber fazer: a maioria dos alunos que entendem com mais propriedade o conceito de Movimento Relativo (alunos de alta proficiência) conseguem explicitar seu entendimento, seja parcialmente ou de forma clara e inteligível. Os que não entendem o conceito (alunos de baixa proficiência) não conseguem explicitá-lo. Esse resultado vai ao encontro da nossa aceção de que a articulação de um entendimento de maneira a torná-lo compreensível externamente representa o nível de formalização do pensamento, pois apesar de externalizarmos somente parte do que sabemos, essa parte será tanto mais inteligível quanto maior for nosso entendimento.

4.3.2.3 O saber explicitar como indício do pensamento formal

Na aprendizagem, integramos muitas estruturas e elementos, sendo a organização das relações cada vez mais complexa. Nossa compreensão se realiza paulatinamente, através de um esforço pessoal de integrar cada novo conceito que aprendemos ao nosso campo de conhecimento. Nesse processo, passamos por níveis de entendimento, que se estabelecem progressivamente em direção à concepção do conceito em sua forma mais abstrata, dissociada de elementos da realidade imediata, independente de objetos concretos. Nesse nível de pensamento formal, o conceito é compreendido no sentido mais amplo e relações com outros conteúdos são facilmente estabelecidas.

Nossa hipótese é a de que, ao passar por esses níveis de entendimento, nossa capacidade de explicitar o que sabemos se aprimora na medida em que esse entendimento vai se tornando mais consistente. Articulamos melhor uma idéia quando temos clareza do que vamos colocar em palavras; por isso, acreditamos ser possível obter pistas do estado de articulação de um entendimento através da externalização da concepção. Embora reconheçamos os limites do método de interpretação do que é explicitável, estamos certos da possibilidade de realizar inferências plausíveis que correspondam em algum nível à compreensão dos conceitos abordados.

TABELA 8 - Frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO, para os conceitos de Sistema de Referência (q1a) e Movimento Relativo (q1b)

Taxonomia SOLO	Questão 1a		Questão 1b	
	Frequência	Porcentagem	Frequência	Porcentagem
P	155	42,0%	111	30,1%
U1	19	5,1%	96	26,0%
M1	32	8,7%	51	13,8%
R1	30	8,1%	13	3,5%
U2	54	14,6%	22	6,0%
M2	38	10,3%	56	15,2%
R2	19	5,1%	12	3,3%
UF1	15	4,1%	5	1,4%
MF1	6	1,6%	2	0,5%
RF1	1	0,3%	1	0,3%
Total	369	100%	369	100%

Dessa forma, adotamos a Taxonomia SOLO (TAB. 8) para identificar os níveis de entendimento de Sistema de Referência e Movimento Relativo, com o pressuposto teórico

de que colocar em palavras é um indicativo de que o conhecimento se encontra no nível mais formal de pensamento.

Apesar de ser possível perceber algum padrão de comportamento dos dados para categorias como o pré-estrutural e o formal, não há como fazer o mesmo com as outras categorias, que não obedecem a um padrão mais inteligível e interpretável neste tipo de apresentação. Além disso, as respostas às questões foram sucintas, o que dificultou uma classificação mais detalhada dos níveis de complexidade expressos nas tabelas acima. Por isso, apresentamos a seguir resultados obtidos a partir da condensação de algumas categorias, pois nosso intuito nessa seção é o de estar identificando se o entendimento explícito nas questões abordadas está no modo concreto, pré-estrutural ou formal de pensamento. Dessa forma, os níveis U1-M1-R1 foram colapsados na categoria Concreto-simbólico 1 (CS1); os níveis U2-M2-R2 na categoria Concreto-simbólico 2 (CS2) e os níveis UF1-MF1-RF1 na categoria Formal (F).

TABELA 9 - Frequência das respostas das questões 1a e 1b de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada

Taxonomia SOLO	Questão 1a		Questão 1b	
	Frequência	Porcentagem	Frequência	Porcentagem
Pré-estrutural	155	42,0%	111	30,1%
Concreto 1	81	22,0%	160	43,4%
Concreto 2	111	30,1%	90	24,4%
Formal	22	6,0%	8	2,2%
Total	369	100%	369	100%

Pela TAB. 9, notamos que a maioria dos alunos conceitualizam Sistema de Referência em um nível abaixo ao solicitado na questão, enquanto que para Movimento Relativo, a maioria consegue explicar com elementos concretos, mas em um nível no qual as relações não são amplamente realizadas. Poucos alunos, para ambos os conceitos, atingem o patamar formal. Nesse caso a porcentagem de alunos na questão 1a é um pouco superior ao da questão 1b. Novamente atribuímos esse fato à natureza mais abstrata do primeiro conceito, sendo o entendimento do segundo mais apoiado em elementos da realidade imediata e, portanto, mais facilmente externalizável tendo em vista elementos concretos.

Ao identificar a incidência de respostas nas categorias de nível de explicitação juntamente com a Taxonomia SOLO, o intuito era justamente de verificar a relação existente entre ambas as categorias. É importante ressaltar que as duas formas de categorização foram realizadas independentemente e com focos distintos.

TABELA 10 - Relação entre a frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada e do nível de explicitação da questão 1a – Sistema de Referência

Categorias de Explicitação		Taxonomia SOLO				
		P	Concreto 1	Concreto 2	Formal	Total
Não Explícita	Nº	136	3			139
	%	97,8	2,2			100 37,7%
Explícita parcialmente	Nº	19	65	80	11	175
	%	10,9	37,1	45,7	6,3	100 47,4%
Explícita	Nº		13	31	11	55
	%		23,6	56,4	20,0	100 14,9%
Total	Nº	155	81	111	22	369
	%	42	22	30	6	100 100%

A TAB. 10 apresenta a frequência de alunos nas categorias SOLO e nas categorias de explicitação; nela, cada célula contém o número de respondentes a cada duas categorias e a porcentagem em relação às categorias de explicitação. Nas células que representam o total, temos ainda a porcentagem de alunos de cada categoria de explicitação em relação ao total de 369 respondentes, destacada em negrito. Através da TAB. 10, verificamos que os alunos que não explicitam coerentemente o conceito de Sistema de Referência estão na sua maioria no nível Pré-estrutural, com pouca representatividade no Concreto 1. Podemos dizer que há, de certa forma, correspondência entre essas categorias, uma vez que ambas dizem respeito a respostas ininteligíveis, incoerentes ou que não correspondem ao solicitado na questão. Tanto os alunos que explicitam parcialmente como os que explicitam estão em sua maioria no modo concreto de pensamento, sendo que os primeiros têm certa representatividade (10,9%) no modo Pré-estrutural, enquanto os outros não possuem nenhuma resposta nesse modo. Podemos perceber ainda uma certa progressão dos alunos que explicitam em relação aos que explicitam parcialmente, pois há uma tendência dos primeiros de se concentrarem no modo Concreto 2 e Formal (20% dos alunos que explicitam), sendo a porcentagem do outro mais distribuída.

Fazendo-se o teste de associação utilizando o Jonckheere-Terpstra, obtivemos 0,0000 para o valor de p ($J = 15,78$), o que nos garante a rejeição da hipótese nula de associação igual a zero. Portanto, para o conceito de Sistema de Referência constatamos estatisticamente a existência da relação entre o saber explicitar e o nível de formalização do pensamento.

Em termos gerais, os alunos que não conseguem explicitar seu entendimento estão no nível Pré-estrutural de pensamento; os que explicitam parcialmente podem estar tanto no Pré-estrutural, como no Formal, mas com maior probabilidade de estarem no nível Concreto. Finalmente, os que conseguem expressar com clareza o que entendem por Sistema de Referência podem estar no nível Concreto, mas com maior chance do que os outros de terem atingido o patamar Formal.

Para a questão de Movimento Relativo tivemos o resultado como mostra a TAB.11 (essa tabela tem o mesmo padrão da TAB. 10). Novamente notamos que a maioria dos alunos que não explicitam se encontra no nível Pré-estrutural, tendo ainda alguma expressão no Concreto 1 (19,1%). Diferentemente da questão 1a, a questão 1b apresenta a maioria das respostas parcialmente explícitas no nível Concreto 1 (94,3%), não tendo nenhuma representatividade no nível Formal; também para a categoria explícita, o nível Formal apresenta somente 8,6% das respostas, sendo a maioria no Concreto 2.

TABELA 11 - Relação entre a frequência das respostas de acordo com a Taxonomia SOLO colapsada e do nível de explicitação da questão 1b – Movimento Relativo

Categorias de Explicitação		Taxonomia SOLO				
		P	Concreto 1	Concreto 2	Formal	Total
Não explícita	N	110	26			136
	%	80,9	19,1			100 36,9%
Explícita parcialmente	N	1	132	7		140
	%	0,7	94,3	5		100 37,9%
Explícita	N		2	83	8	93
	%		2,2	89,2	8,6	100 25,2%
Total	N	111	160	90	8	369
	%	30,1	43,4	24,4	2,2	100 100%

Percebemos a predominância do nível Pré-estrutural nas respostas não explícitas, do Concreto 1 nas parcialmente explícitas e do Concreto 2 nas explícitas, sendo o nível Formal inexistente nas duas primeiras e com pouca expressão na última categoria.

Através do teste de associação pelo Jonckheere-Terpstra obtivemos o valor 0,000 para p ($J = 19,35$), o que nos faz rejeitar novamente a hipótese nula e aceitar que há associação entre a capacidade de explicitar o conceito de Movimento Relativo e a nível de formalização do pensamento.

Esse resultado novamente reflete a idéia de que, sendo Movimento Relativo um conceito mais facilmente associado a elementos do mundo sensorial, ele é definido e entendido mais em termos concretos, sem ser necessariamente relacionado a outros conteúdos e contextos ou abstraído para outras situações onde diferentes conhecimentos são mobilizados.

Em linhas gerais, concluímos que a capacidade de explicitar está associada à formalização do pensamento para ambos os conceitos; o grau de coerência e clareza ao expor o entendimento sobre um conceito revela de certa forma o nível de abstração correspondente à compreensão desse conceito em um sentido mais amplo, mais formal.

4.3.2.4 Discussões dos resultados da primeira parte

A primeira parte da análise teve como foco a investigação sobre o entendimento dos estudantes em geral sobre os conceitos Movimento Relativo e Sistema de Referência. Deteve-se na tentativa de compreender o nível de abstração dos alunos em meio à expressão escrita desse entendimento, tendo como parâmetro categorias associadas ao grau de explicitação e ao nível de formalização do pensamento.

Os resultados demonstram que os alunos, em sua maioria, lidam com eficácia com questões em que conceitos mais abstratos são utilizados para resolver problemas específicos, sem que o foco esteja na conceitualização propriamente dita. Em contrapartida, quando são solicitados a verbalizar seu entendimento sobre esses conceitos, o fazem com pouca destreza, pois geralmente os definem sucintamente se valendo de poucos elementos para expor suas idéias. Assim, apesar de resolverem questões problemáticas envolvendo os conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo, não conseguem expressar com clareza o que entendem por esses conceitos.

Contudo, identificamos uma certa relação entre o saber dizer e o saber fazer para conceitos mais concretos. Apesar da conceitualização não apresentar argumentos que indiquem um pensamento formal, verificamos maior facilidade em expressar, baseando-se em elementos concretos, o conceito de Movimento Relativo; esse é entendido e melhor expressado no nível concreto de pensamento.

Embora o saber fazer não esteja associado necessariamente ao saber dizer, constatamos que a articulação das idéias de maneira a deixar claro o entendimento é um forte indicativo do nível de formalização do pensamento. Mesmo para o conceito de Movimento Relativo, entendido e explicitado em termos concretos, verificamos que, quanto mais elevado o nível de pensamento, maior a facilidade de expressar o entendimento. Ainda que não tenham atingido o patamar formal, tanto para o conceito de Movimento Relativo como para o de Sistema de Referência, os alunos que apresentam o entendimento no limiar do modo concreto para o modo formal de pensamento demonstram mais habilidade em explicitar esse entendimento. Esse resultado vai ao encontro do nosso pressuposto teórico de que a clareza e inteligibilidade de uma explanação correspondem, em algum grau, ao nível de formalização do pensamento.

4.3.3 O amadurecimento influencia no entendimento?

Partimos da hipótese de que a retomada de conteúdos em diferentes fases da aprendizagem, com diferentes abordagens e em contextos diversos, possibilita maior entendimento de conceitos mais abstratos como os de Sistema de Referência e Movimento Relativo. Mesmo que esse entendimento não atinja o patamar formal, ele se realiza de maneira mais consistente quando os conceitos são ensinados em diferentes momentos da vida escolar.

A seguir, fazemos uma análise em relação às concepções dos estudantes levando-se em consideração a série e a situação de ensino já apresentada.

4.3.3.1 A relação entre o nível de entendimento e a série

Admitindo-se como entendimento a habilidade do estudante de não só expor em palavras o que sabe, mas sobretudo sua capacidade em utilizar seu conhecimento em situações problemáticas, tomamos a proficiência como evidência de parte desse

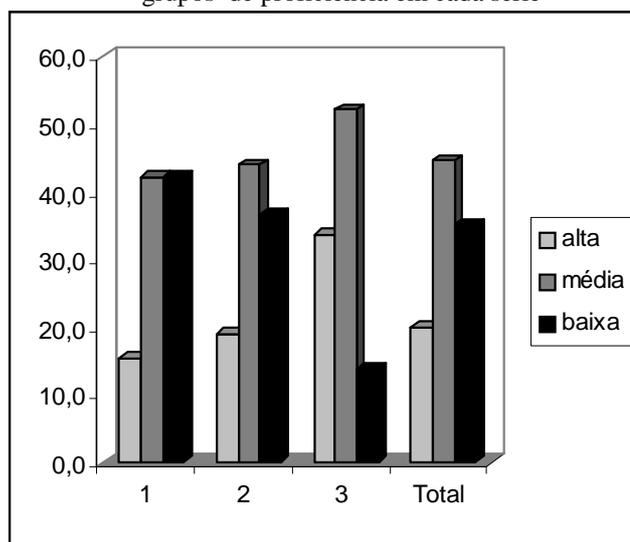
entendimento e, através de testes estatísticos, investigamos a relação entre essa proficiência e as séries.

Dentre os 369 alunos investigados, 168 pertenciam ao primeiro ano, 136 ao segundo e 65 ao terceiro. Pelo GRAF. 31 e pela TAB. 12, percebemos um crescimento progressivo da porcentagem de alunos com alto desempenho de acordo com a série e, mesmo que essa categoria não represente a maioria das respostas no terceiro ano, ela é mais significativa nessa série do que nas demais.

TABELA 12 - Categorias de Proficiência de acordo com a série

			SÉRIE			Total
			1	2	3	
Proficiência	alta	Nº	26	26	22	74
		%	15,5	19,1	33,8	20,1
	média	Nº	71	60	34	165
		%	42,3	44,1	52,3	44,7
	baixa	Nº	71	50	9	130
		%	42,3	36,8	13,8	35,2
Total		Nº	168	136	65	369
		%	100	100	100	100

GRÁFICO 31: Freqüência (em porcentagem) dos grupos de proficiência em cada série



Há também um acréscimo da porcentagem dos alunos de média proficiência em relação à série e um decréscimo significativo da incidência da categoria “baixa proficiência” segundo o mesmo critério. Podemos observar que tanto no primeiro como no segundo ano, a tendência dos alunos é de estarem situados nos grupos de média e baixa

proficiência, enquanto que no terceiro a maioria se encontra no grupo de alta e média proficiência; o primeiro ano apresenta um índice de 42,3% de alunos na categoria de baixa proficiência, mas a porcentagem do terceiro nessa mesma categoria é de apenas 13,8%, ficando o segundo ano com incidência intermediária, mas aproximando da porcentagem referente à primeira série. Temos que, no primeiro ano, boa parte dos alunos têm proficiência baixa e média, sendo pouca a representatividade na categoria “alta proficiência”; no segundo ano há um pequeno decréscimo na categoria de baixa proficiência e um acréscimo sutil nas demais; finalmente no terceiro ano percebemos um aumento significativo de alunos de alto e médio desempenhos, sendo que a representatividade na categoria “baixa proficiência” diminui visivelmente.

Esse resultado indica que, em termos de habilidade para lidar com resolução de problemas, os alunos do terceiro ano apresentam melhor desempenho do que os do segundo e os do primeiro. Sendo assim, podemos dizer que os alunos da terceira série demonstram uma compreensão mais consistente sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência do que os alunos da primeira e segunda séries, onde não percebemos diferença muito substancial. Esse é o primeiro indício de que o contato com um conceito em diferentes fases favorece a aprendizagem, uma vez que os alunos da última série haviam estudado recentemente o tema e demonstraram ter um entendimento, em termo de performance específica, mais contundente.

Pelo teste Jonckheere-Terpstra de associação, o valor de p foi de 0,0004 ($J = 3,851$), indicando uma associação entre a série e a habilidade na solução de problemas, representada pelos grupos de proficiência.

4.3.3.2 A relação entre o nível de explicitação e a série

Se os alunos do terceiro ano possuem maior entendimento dos conceitos abordados, é de se esperar que uma grande porcentagem de respostas nessa série demonstre clareza na definição desses conceitos nas questões 1a e 1b.

Entretanto, como evidenciado pela TAB. 13 (as células dessa tabela contêm o número de respostas pertencentes às categorias de explicitação e às séries simultaneamente, apresentando porcentagem total de alunos em cada categoria de acordo com a série), as porcentagens de alunos das três séries que explicitam seu entendimento sobre Sistema de Referência não divergem muito.

TABELA 13 - Série de acordo com o nível de explicitação na questão 1a – Sistema de Referência

Questão 1a		SÉRIE			
		1	2	3	Total
Não explicitam	Nº	77	45	17	139
	%	45,8%	33,1%	26,2%	37,7%
Explicitam parcialmente	Nº	65	73	37	175
	%	38,7%	53,7%	56,9%	47,4%
Explicitam	Nº	26	18	11	55
	%	15,5%	13,2%	16,9%	14,9%
Total	Nº	168	136	65	369
	%	100%	100%	100%	100%

Na categoria parcialmente explicita há uma diferença em relação à porcentagem de respostas dos alunos do primeiro ano para os demais, mas não entre as porcentagens de alunos do segundo e terceiro; ou seja, enquanto a maioria dos alunos da segunda e terceira séries consegue expor de forma parcial sua concepção, os da primeira não conseguem explicitar de forma clara. Novamente nesse resultado demonstra-se que o saber dizer não é determinante no saber fazer, pois, embora os alunos da terceira série tenham um entendimento em termos de operacionalidade superior aos demais, não conseguem ter expressividade significativa na categoria quando tomamos como parâmetro o nível de explicitação de seu entendimento. Apesar disso, há aqui um indício de que seu entendimento está mais bem articulado, pois apresenta porcentagem um pouco superior de respostas nas categorias parcialmente explicita e explicita em relação aos demais, além de possuírem o menor índice na categoria não explicita. Não devemos nos esquecer do fato do conceito abordado nessa questão ser mais abstrato, difícil de ser compreendido e verbalizado, por isso a maioria não consegue defini-lo. Em geral, identificamos maior facilidade por parte dos alunos do terceiro ano em conceituar Sistema de Referência, mesmo que com alguma incoerência ou elemento de erro.

Pelo teste de associação Jonckheere-Terpstra, obtivemos 0,0154 para o valor de p ($J = 2,424$). Sendo esse valor menor que 0,05, rejeitamos a hipótese nula de não associação; dessa forma, podemos constatar que há relação entre a série e o nível de explicitação do conceito de Sistema de Referência.

Fazendo a mesma análise para a questão 1b, verificamos que a terceira série se destaca na categoria de parcialmente explícita, apresentando, entretanto, a menor porcentagem de respostas na explícita (TAB. 14). Os alunos do primeiro ano continuam em sua maior parte na categoria não explícita, mas apresentam porcentagem um pouco maior do que as outras séries para a explícita. A porcentagem das categorias não explícita e parcialmente explícita no segundo ano se equiparam, sendo a categoria explícita a de menor expressão.

TABELA 14 - Série de acordo com o nível de explicitação na questão 1b - Movimento Relativo

Questão 1b		SÉRIE			
		1	2	3	Total
Não explicitam	Nº	73	52	11	136
	%	43,5%	38,2%	16,9%	36,9%
Explicitam parcialmente	Nº	50	51	39	140
	%	29,8%	37,5%	60,0%	37,9%
Explicitam	Nº	45	33	15	93
	%	26,8%	24,3%	23,1%	25,2%
Total	Nº	168	136	65	369
	%	100%	100%	100%	100%

Esse resultado pode ser entendido se considerarmos a situação de ensino na qual os dados foram coletados. Para um conceito mais concreto e definido de forma mais explícita no primeiro ano, é razoável obtermos um grupo de alunos nessa série que consiga articular uma resposta coerente tendo em vista que o conteúdo tinha sido aprendido recentemente; mas ainda assim a maioria não conseguiu expor seu entendimento, mesmo que parcialmente. No segundo ano, os conceitos não foram retomados, pois a unidade de estudo não dizia respeito à Mecânica; não houve muita diferença, nessa circunstância, entre alunos que não explicitaram e explicitaram parcialmente, tendo pouca diferença em relação à série anterior dos que conseguiram explicitar. Já no terceiro ano, embora tivessem estudado recentemente um tópico de Mecânica, os conceitos não foram explicitamente ensinados; conseguiram, assim, expor de forma parcial seu entendimento mais eficazmente que os outros, apesar de apresentarem uma porcentagem inferior que os demais na categoria explícita. Além disso, o índice de alunos na categoria não explícita é bem inferior aos índices da segunda e primeira séries, demonstrando que, apesar de não possuírem

habilidade em expor com propriedade seu entendimento, a maioria apresenta respostas condizentes com a questão, mesmo que com algum elemento de erro ou incoerência.

Pelo teste de associação Jonckheere-Terpstra, o valor de p foi de 0,0598 ($J = 1,858$), o que nos leva a aceitar a hipótese nula de associação igual a zero; ou seja, para o conceito de Movimento Relativo não há relação entre a série e o saber explicitar o entendimento.

Verificamos que para conceitos mais abstratos não há muita diferença da série na forma de explicitação, mas há maior porcentagem de alunos do terceiro, cujo estudo do tema foi retomado, que conseguem expor com mais propriedade seu entendimento do que os alunos de primeiro ano, cujo contato tanto com a disciplina de Física como com o conteúdo é inicial. Os alunos da segunda série não tiveram índices muito superiores aos da primeira, demonstrando que em grande parte estão no mesmo patamar. Os alunos da terceira série, além de apresentarem um entendimento mais consistente em termos de resolução de problemas, também superaram os demais quando solicitados a verbalizar esse entendimento. Os da segunda e primeira, embora tenham apresentado desempenho semelhante em termos de proficiência, demonstraram pequena diferença em relação à forma de explicitação: enquanto os da segunda se concentraram principalmente na categoria parcialmente explícita na questão 1a e nessa categoria juntamente com a categoria “não explícita” na questão 1b, os da primeira série estão, em ambas as questões, concentrados na categoria “não explícita”.

4.3.3.3 A relação entre o nível de explicitação e o entendimento de acordo com a série

Nesse item procuramos identificar como a série está associada à maneira de explicitar, tendo-se como parâmetro o entendimento em termos de proficiência. Nossa intenção foi investigar se existe alguma tendência em relação ao nível de explicitação dos alunos das diferentes proficiências nas três séries distintas.

De acordo com dados anteriores, constatamos que o terceiro ano apresenta um entendimento, em termos de proficiência, superior aos demais. Nosso interesse está em verificar a forma pela qual essas três categorias se relacionam (TAB. 15), tendo em vista as questões 1a e 1b. Como estão distribuídos os grupos de proficiências em relação aos alunos que explicitam, explicitam parcialmente e não explicitam os conceitos de Sistema de Referência e Movimento Relativo na primeira, segunda e terceira séries?

A TAB. 15 demonstra a relação entre 3 categorias: de proficiência, de explicitação e a série. Nas células com valores numéricos temos a quantidade de alunos de cada série que correspondem às categorias de alta, baixa e média proficiência de acordo com as categorias de explicitação, sendo apresentada também a porcentagem correspondente a esse número em relação aos alunos das séries em cada categoria de explicitação.

TABELA 15 - Relação entre série, categorias de proficiência e categorias de explicitação da questão 1a – Sistema de Referência

Questão 1a				SÉRIE			Total
				1	2	3	
<i>Explícita</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	13 50,0%	9 50,0%	1 9,1%	23 41,8%
		média	Nº %	9 34,6%	4 22,2%	4 36,4%	17 30,9%
		alta	Nº %	4 15,4%	5 27,8%	6 54,5%	15 27,3%
	Total	Nº %	26 100,0%	18 100,0%	11 100,0%	55 100,0%	
<i>Explícita parcialmente</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	25 38,5%	26 35,6%	5 13,5%	56 32,0%
		média	Nº %	30 46,2%	35 47,9%	19 51,4%	84 48,0%
		alta	Nº %	10 15,4%	12 16,4%	13 35,1%	35 20,0%
	Total	Nº %	65 100,0%	73 100,0%	37 100,0%	175 100,0%	
<i>Não explícita</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	33 42,9%	15 33,3%	3 17,6%	51 36,7%
		média	Nº %	32 41,6%	21 46,7%	11 64,7%	64 46,0%
		alta	Nº %	12 15,6%	9 20,0%	3 17,6%	24 17,3%
	Total	Nº %	77 100,0%	45 100,0%	17 100,0%	139 100,0%	

Ao analisarmos a TAB. 15 verificamos que dos 26 alunos da primeira série que explicitam o conceito, metade deles têm baixa proficiência e a minoria tem alta proficiência. Na segunda série também temos 50% das respostas explícitas na categoria de baixa proficiência, sendo o restante distribuído entre as categorias de alta (27,8%) e média (22,2%). No terceiro ano, entretanto, podemos constatar que para os alunos que explicitam o conceito de Sistema de Referência há maior incidência de respostas no grupo de alta proficiência (54,5%), sendo a minoria no grupo de baixa proficiência (9,1%).

Para a categoria explícita parcialmente, constatamos que em todas as séries há uma porcentagem maior de respostas desse tipo nos grupos de média proficiência. Os alunos do terceiro ano ainda demonstram significativamente menor incidência que os demais no grupo de baixa proficiência, tendo em vista a categoria explícita parcialmente.

Na categoria não explícita percebemos que o grupo de alta proficiência no terceiro ano reduz visivelmente sua representação, sendo que nos outros anos temos em média o mesmo comportamento observado para a categoria explícita parcialmente.

Podemos dizer que o fato de explicitar o conceito de Sistema de Referência parece estar associado a uma alta habilidade em resolver problemas, principalmente para os alunos do terceiro ano, que apresentaram grande porcentagem de respostas explícitas simultaneamente ao grupo de alta proficiência, sendo essa porcentagem reduzida quando tomamos grupo de alta proficiência e categoria não explícita para a mesma série. Para os alunos do segundo e primeiro anos essa ligação não é tão explícita como para o terceiro ano: na primeira série tivemos pouca variação do grupo de alta proficiência tomando-se as três categorias de explicitação, sendo a variação dos outros grupos de proficiência não padronizada. O mesmo ocorreu para a segunda série em relação aos grupos de baixa e média proficiência, mas o de alta diminui visivelmente da categoria explícita para explícita parcialmente, aumentando de novo na categoria não explícita. Portanto, a relação entre o desempenho nas questões de solução de problemas com a série e também a forma de expor o entendimento de Sistema de Referência foi mais interpretável para os alunos do terceiro ano.

Fazendo-se o teste de associação utilizando o teste de Cochran-Mantel-Haenszel para tabela $l \times c$ duplamente ordenada e estratificada, que testa a associação entre três variáveis categóricas ordinais, chegamos a 0,893 para o valor de p ($C = 0,1899$), o que nos faz aceitar a hipótese nula de que a associação entre as categorias testadas é zero. Assim, do ponto de vista estatístico, não podemos afirmar que exista relação entre a série, a proficiência e a capacidade de explicitação para o conceito de Sistema de Referência, concomitantemente.

Não existe, para esse conceito, relação entre o saber dizer e o saber fazer tomando-se cada série como referência. Parece haver maior tendência, no terceiro ano, dos alunos de alta proficiência saberem explicitar melhor o conceito, mas o mesmo não ocorre para os alunos do primeiro e segundo anos.

Para o conceito de Movimento Relativo temos a TAB.16 que possui o mesmo formato da TAB. 15.

TABELA 16 - Relação entre série, categorias de proficiência e categorias de explicitação da questão 1b – Movimento Relativo

Questão 1b				SÉRIE			Total
				1	2	3	
<i>Explícita</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	15 33,3%	11 33,3%		26 28,0%
		média	Nº %	23 51,1%	13 39,4%	8 53,3%	44 47,3%
	alta	Nº %	7 15,6%	9 27,3%	7 46,7%	23 24,7%	
	Total	Nº %	45 100,0%	33 100,0%	15 100,0%	93 100,0%	
<i>Explícita parcialmente</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	18 36,0%	13 25,5%	7 17,9%	38 27,1%
		média	Nº %	23 46,0%	27 52,9%	20 51,3%	70 50,0%
	alta	Nº %	9 18,0%	11 21,6%	12 30,8%	32 22,9%	
	Total	Nº %	50 100,0%	51 100,0%	39 100,0%	140 100,0%	
<i>Não explícita</i>	CATEGORIA DE PROFICIÊNCIA	baixa	Nº %	38 52,1%	26 50,0%	2 18,2%	66 48,5%
		média	Nº %	25 34,2%	20 38,5%	6 54,5%	51 37,5%
	alta	Nº %	10 13,7%	6 11,5%	3 27,3%	19 14,0%	
	Total	Nº %	73 100,0%	52 100,0%	11 100,0%	136 100,0%	

Como observamos, há uma tendência geral nas três séries dos alunos de mais alta proficiência conseguirem explicitar melhor o conceito. As porcentagens referentes à categoria de alta proficiência da segunda série decrescem conforme as categorias de explicitação tomam valores menores (conforme há a passagem da categoria explícita para explícita parcialmente e não explícita), demonstrando haver uma relação entre o saber explicitar o conceito de Movimento Relativo e a capacidade de resolução dos problemas. No terceiro ano, essa relação ainda é mais visível, pois podemos perceber que na categoria explícita não há alunos de baixa proficiência, sendo essa porcentagem aumentada na medida que consideramos as categorias explícita parcialmente e não explícita. Para o primeiro ano a associação entre essas categorias não é tão explícita, mas podemos perceber

que o índice de baixa proficiência é maior na categoria não explícita (52,1%) do que na explícita parcialmente (36%) e explícita (33,3%).

Fazendo-se o teste de Cochran-Mantel-Haenszel para tabela $l \times c$ duplamente ordenada e estratificada, encontramos 0,0004 para o valor de p ($C = 3,045$), o que nos leva a rejeitar a hipótese nula de não associação entre as três variáveis testadas: série, categoria de explicitação e grupos de proficiência.

O conceito de Movimento Relativo parece ser mais bem entendido pelos alunos em geral, por ser mais associado à realidade imediata. Para esse conceito, a expressão do entendimento é um indicativo do nível de entendimento, uma vez que averiguamos associação entre as categorias.

Para o conceito de Sistema de Referência, entretanto, o fato de explicitar não influencia na habilidade em lidar com as questões de resolução de problemas para as duas primeiras séries; o entendimento, nesse caso, não corresponde ao que foi verbalizado. Na terceira série, contudo, percebemos uma tendência do saber explicitar estar associado à proficiência: parece que para esses alunos o entendimento é mais abstrato, mais formalizado e, dessa forma, conseguem expor com mais clareza seu entendimento.

Verificamos, assim, que para a questão de Movimento Relativo os alunos de mais alta proficiência, em geral, tendem a explicitar melhor o conceito, enquanto para a questão de Sistema de Referência esse fato só é percebido para a terceira série.

4.3.3.4 A série e o nível de formalização do pensamento

Tendo em vista que concebemos o ato de explicitar como indício de que o pensamento se encontra em um patamar mais formal e que esse existe em maior grau para alunos cuja maturidade em relação a determinado conteúdo é mais intensa, tentamos estabelecer a relação existente entre o nível de formalização e a série.

Pelo GRAF. 32 observamos um mesmo padrão para as três séries: há mais estudantes operando no Concreto-Simbólico, nos ciclos 1 e 2, e muitos poucos conseguem operar no modo Formal de pensamento. Entretanto, há diferenças entre as séries em relação aos estudantes que operam no nível Pré-estrutural: a primeira e segunda séries apresentam uma porcentagem significativamente maior de estudantes operando nesse modo que a terceira série. Podemos perceber que nas duas primeiras séries o percentual de

estudantes que opera no modo pré-estrutural é bem maior do que o percentual de estudantes que operam no ciclo CS1, sendo essa diferença atenuada na terceira série.

GRÁFICO 32: Freqüência dos modos de pensamento segundo a série – questão 1a

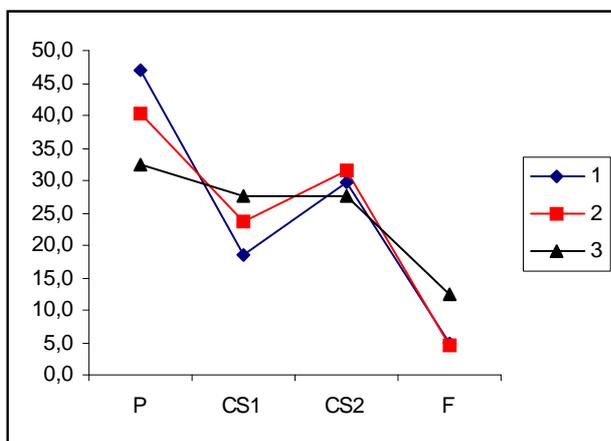
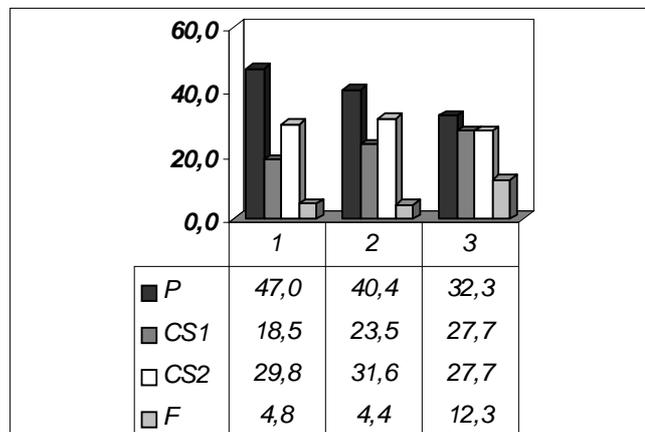


GRÁFICO 33: Categorias SOLO X Série – questão 1a



No modelo de Biggs e Collis, respostas no modo Pré-estrutural indicam que o estudante está operando em um modo de pensamento inferior ao exigido pela tarefa. Aplicado ao resultado acima, isso significa que boa parte dos estudantes está funcionando no modo icônico ou sensório-motor.

O GRAF. 33 mostra como cada categoria dos entendimentos dos estudantes sobre Sistema de Referência está distribuída pelas séries em termos de porcentagens. Podemos perceber que a categoria P decresce conforme a série, a CS2 tem um máximo na segunda série, enquanto que as categorias CS1 e F apresentam um mesmo padrão: permanecem quase inalteradas durante as duas primeiras séries e crescem na terceira série. Essa é uma nova maneira de exibir a evidência de que os estudantes da terceira série apresentam um entendimento mais articulado do que os estudantes das séries anteriores. Assim eles conseguem expressar, mesmo que se valendo de imagens do mundo real, uma concepção mais clara e inteligível, apesar de sua expressão no modo Formal de pensamento ser pouco significativa.

Fazendo-se o teste de associação Jonckheere-Terpstra, obtivemos o valor 0,0776 de p ($J = 1,777$), o que não nos garante, do ponto de vista estatístico, associação entre a série e o patamar de formalização para o conceito de Sistema de Referência.

Os GRAF. 34 e 35 são similares aos dois primeiros, mas se referem ao entendimento sobre Movimento Relativo. Para esse conceito percebemos, ao analisarmos o GRAF. 34, que a porcentagem maior de alunos nas três séries se encontra no estágio Concreto-Simbólico, nos ciclos de aprendizagem CS1 e CS2. O percentual de estudantes que funcionam no modo Formal é pequeno nas duas primeiras séries e cresce na terceira série. O percentual de estudantes no nível Pré-estrutural quase não se altera da primeira para a segunda série, enquanto que decresce visivelmente quando observamos a terceira série. Isso é um indício de que há progresso cognitivo ao passar da segunda para a terceira série.

GRÁFICO 34: Frequência dos modos de pensamento segundo a série – questão 1b

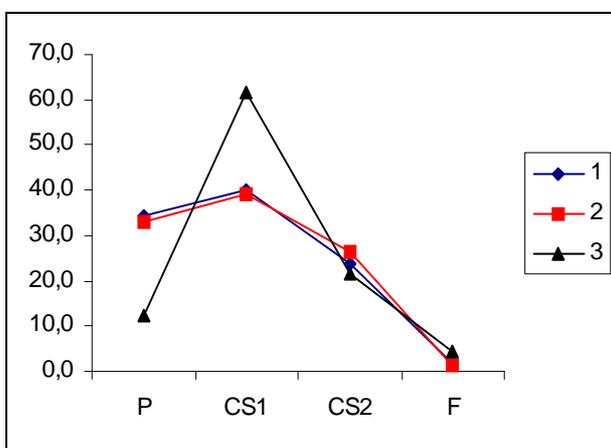
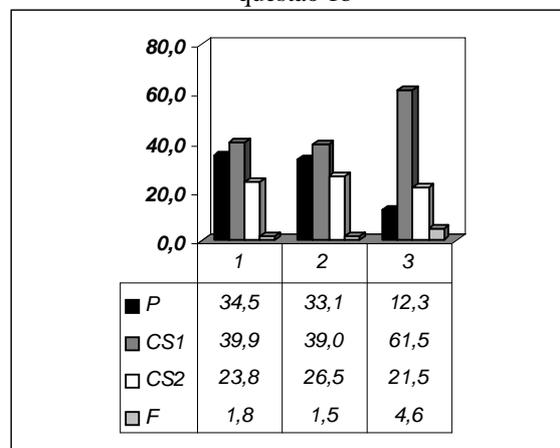


GRÁFICO 35: Categorias SOLO X Série – questão 1b



Pelo teste Jonckheere-Terpstra, tivemos $p = 0,0604$ ($J = 1,854$), o que também não nos garante, do ponto de vista estatístico, associação entre o patamar de formalização e a série.

O GRAF. 35 exibe a distribuição dos modos de operação segundo as séries. Podemos perceber uma tendência dos estudantes da terceira série operarem em níveis mais altos do que os das duas séries anteriores. Esse resultado reforça a idéia de que currículos recursivos favorecem o desenvolvimento de modos mais altos de pensamento e de aprendizagem.

Apesar de não termos constatado associação significativa do ponto de vista estatístico entre o nível de formalização do pensamento e a série, em linhas gerais percebemos que os alunos das três séries operam no modo Concreto-Simbólico para os dois conceitos, sendo a porcentagem maior para o conceito de Movimento Relativo. Essa não associação pode ser devido ao fato de os alunos do primeiro e segundo anos não apresentarem diferenças de incidência nas categorias referentes ao modo Concreto, sendo

essa diferença percebida somente para os alunos do terceiro ano. Verificamos também um indício de que os alunos da terceira série possuem um entendimento mais abstrato dos conceitos, pois apresentaram maior porcentagem nos modos mais altos de funcionamento detectados: Concreto-Simbólico 2 e Formal, tanto para o conceito de Movimento Relativo como para o de Sistema de Referência.

4.3.3.5 Discussão dos resultados da segunda parte

Constatamos que os alunos da terceira série apresentam um entendimento melhor estruturado que os alunos da primeira e segunda, tomando-se como referência o entendimento como capacidade em lidar com situações problemáticas que necessitam da mobilização de certos conceitos para serem interpretadas. Verificamos que esses alunos têm maior habilidade em explicitar conceitos mais abstratos e que, quanto ao nível de formalização, parecem superar os das outras séries. Esse resultado vai ao encontro com nossa hipótese de que quanto mais formalizado um pensamento, mais clara é sua expressão verbal, mesmo que essa expressão não revele todo o entendimento. Dessa forma, podemos dizer que os alunos de maior amadurecimento em relação aos conceitos apresentados tiveram uma compreensão mais formal desses conceitos.

O conceito que exige menor nível de abstração foi mais bem entendido (no nível Concreto-Simbólico) e, conseqüentemente, melhor explicitado pelos alunos das três séries. Podemos fazer essa análise a partir da referência à proficiência, que foi maior para os que explicitaram, mesmo que de forma parcial, seu conhecimento sobre Movimento Relativo. Conceitos mais abstratos representam mais obstáculos para serem apreendidos e, mesmo que os alunos consigam mobilizá-los para resolver problemas, sua explicitação não é de fácil realização, demonstrando haver uma compreensão limitada, que se encontra em um nível no qual é possível lidar com o conceito sem ter total clareza a seu respeito.

Enfim, através dessa análise podemos dizer que o amadurecimento em relação a um conteúdo específico tem influência no entendimento de conceitos a ele relacionados, sendo esse amadurecimento concebido em termos de aprendizagem recursiva, em que diferentes abordagens e diferentes situações possibilitam um entendimento mais consistente, levando o estudante ao patamar de pensamento mais formal. Verificamos também que, quanto melhor o entendimento enquanto habilidade em lidar com situações problemáticas, maior é a facilidade em explicitar esse entendimento: embora o saber dizer não seja determinante no saber fazer, ele indica o nível de entendimento dos alunos, que podem estar no modo

Pré-estrutural, Concreto ou Formal de pensamento. Quanto mais articuladas as idéias, mais facilmente são explicitadas, e o aluno faz-se valer de diferentes elementos para expor sua concepção. Novamente os alunos da terceira série demonstraram ter um entendimento mais elaborado que os outros em se tratando do patamar de formalização, pois conseguiram expor com mais propriedade seu entendimento. Nesse aspecto, temos uma forte evidência para afirmar a relação entre a formalização do pensamento e a capacidade de explicitação.

Esse capítulo teve como foco a análise dos dados, tanto do ponto de vista qualitativo como do quantitativo. Tivemos a preocupação de expor da maneira mais transparente possível as decisões metodológicas realizadas, pois a interpretação dos resultados, bem como a análise em si, dependem enormemente dessas decisões. Explicitamos nossa opção pela utilização da proficiência ao invés do escore e nossa adoção de categorias para tratamento da proficiência, ao invés de considerá-la como variável quantitativa intervalar; mesmo tendo consciência da perda em termos do poder de convicção na interpretação dos resultados, essa decisão se mostrou a mais prudente, tendo em vista as justificativas já relatadas.

Depois de apresentar as decisões metodológicas, expusemos os sistemas de categorias utilizados na análise das respostas, identificando a forma pela qual essas respostas se adequaram a cada categoria estabelecida. Descrevemos detalhadamente o processo realizado com as categorias de explicitação e a Taxonomia SOLO. Ao final da seção de análise qualitativa procuramos estabelecer as diferenças entre os dois sistemas, bem como expor uma tentativa de validação dos mesmos; essa validação, contudo, não foi passível de ser realizada.

Finalizamos o capítulo com a análise quantitativa. Nessa seção foram descritos os testes estatísticos realizados para cada objetivo da pesquisa, apresentada a análise e também feita uma discussão parcial de cada resultado obtido. Nessa análise, comparamos de diferentes formas as classes de proficiência, as classes das categorias de explicitação e as classes da Taxonomia SOLO, de acordo com o intuito de cada seção. Realizamos testes de associação para variáveis categóricas ordinais, através do programa StatXact. Utilizamos o teste de Cochran-Mantel-Haenszel para tabela $l \times c$ duplamente ordenada e estratificada e o de Jonckheere-Terpstra para encontrar o valor da estatística p que nos forneceu a informação acerca da associação das variáveis testadas; em ambos os testes utilizamos o método Monte Carlo.

5 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Essa dissertação teve como objetivo investigar o entendimento de estudantes do Ensino Médio sobre conceitos físicos mais abstratos, tendo em vista que a Ciência em geral lida com fenômenos que necessitam de um alto grau de abstração para serem entendidos e interpretados. Uma pesquisa nesse sentido visa contribuir para que sejam apontadas novas condutas de ensino e formas de abordagens que possibilitem lidar mais facilmente com obstáculos de aprendizagem relativos a conceitos mais teóricos.

Nesse relatório de pesquisa apresentamos as teorias que conduziram nossa interpretação dos dados e resultados, assim como nossa metodologia de análise. Descrevemos nossos pressupostos tendo como parâmetro teorias cognitivas; fizemos uma descrição dos métodos empregados na análise baseando-se em teorias estatísticas e fizemos uso de uma teoria Estrutural Cognitiva para interpretar as respostas dos estudantes.

Baseamo-nos na hipótese de que os estudantes têm um entendimento que não pode ser totalmente verbalizado, pois compreende muitas ações mentais, esquemas de raciocínio e outros conteúdos que se relacionam. Conforme a complexidade das relações estabelecidas, o entendimento se encontra mais ou menos articulado. Quanto maior o grau de articulação do entendimento, mais facilmente ele é expresso em palavras. Esse nível de articulação cresce na medida que o estudante integra o conceito em seu quadro conceitual, estabelecendo relações com outros conteúdos; isso ocorre em diferentes fases da vida. Assim, um estudante pode lidar facilmente com um conceito em diferentes níveis de complexidade e em distintos patamares de pensamento, sendo seu entendimento expresso tanto na habilidade em lidar com situações problemáticas envolvendo esse conceito como também na sua capacidade em expressar sua concepção; nesse sentido, partimos do pressuposto que quanto mais articulado se encontrar o entendimento, mais facilmente ele é explicitado.

Acreditamos que o entendimento correspondente ao patamar formal de pensamento é o mais próximo do cientificamente aceito; ele se remete a uma concepção mais abstrata, dissociada de elementos concretos, tangíveis. O entendimento nesse nível se apresenta tanto como uma alta performance em situações problemáticas como também em uma alta capacidade de expor a concepção.

Para investigar o entendimento dos estudantes nesses dois aspectos (como habilidade na solução de problemas e como capacidade de explicitação do conceito), aplicamos um questionário a 417 estudantes do Ensino Médio, das três séries. O mesmo teve questões conceituais e de interpretação. Utilizamos a Teoria de Resposta ao Item para ter acesso à proficiência nas questões dicotômicas de interpretação das situações; utilizamos a Taxonomia SOLO e as categorias de explicitação nas questões diretas sobre o entendimento. Analisamos os dados através de testes estatísticos levando-se em consideração as categorias SOLO, as categorias de Explicitação e as categorias de Proficiência. Essa última poderia ter sido tratada como variável contínua intervalar, mas optamos por trabalhar com classes; mesmo cientes da perda do poder de convicção de interpretação dos resultados, adotamos essa forma de tratamento da proficiência por acreditarmos ser a mais prudente, pois do contrário teríamos pequenas variações nos resultados que não são interpretáveis com fundamentação suficientemente consistente.

A análise foi realizada tomando-se os pressupostos da pesquisa. Assim, foram apresentadas em duas partes:

a) Os estudantes sabem mais do que conseguem dizer?

Nessa seção procuramos identificar as relações entre o saber fazer e o saber dizer, através de comparações entre a proficiência, as categorias de explicitação e categorias SOLO. Constatamos que em geral os alunos apresentam alta proficiência, apesar de não definirem adequadamente os conceitos. Demonstram ter um entendimento mais apoiado em elementos concretos, o que não os impede de lidar operacionalmente com os conceitos.

De maneira geral identificamos que para o conceito de Sistema de Referência o saber explicitar não estava associado ao saber solucionar os problemas, enquanto que para o conceito de Movimento Relativo os alunos de mais alta proficiência conseguiram expor melhor o conceito, se valendo de elementos mais tangíveis. Em contrapartida, identificamos associação entre a formalização do pensamento e a proficiência para o conceito de Sistema de Referência, enquanto que para o conceito de Movimento Relativo essa relação não foi constatada.

Esse resultado nos mostra que o conceito de Movimento Relativo é mais bem entendido em termos concretos, sendo que os alunos conseguem lidar com problemas facilmente sem terem alcançado um entendimento formal do conceito. Para Sistema de Referência, o fato de não haver relação entre o saber explicitar e o saber fazer nos leva a

crer que esse conceito é menos entendido pelos estudantes, pois não há diferença da proficiência de quem explicita e quem não explicita; ou seja, quem não entende o conceito de Movimento Relativo não consegue expor sua concepção e não consegue operar com o conceito: o saber expor, nesse caso, pode ser um indicativo do entendimento. Para o conceito de Sistema de Referência isso não ocorre: quem tem alta proficiência pode ou não expor adequadamente o conceito: o saber dizer, para esse conceito, não está associado ao saber fazer.

Se levarmos em conta o patamar de formalização de entendimento expresso nas respostas, teremos o contrário: para o conceito de Sistema de Referência os alunos de alta proficiência tiveram maior representatividade nas categorias mais formais da Taxonomia SOLO, o mesmo não ocorrendo para o conceito de Movimento Relativo. Assim, podemos dizer que os estudantes em geral entendem melhor o conceito de Movimento Relativo do que o de Sistema de Referência, mas seu entendimento se encontra no patamar concreto ou em patamares inferiores de pensamento.

Esse resultado pode ser explicado justamente pelo fato de que, para o conceito de Movimento Relativo, o estudante possui referentes mais imediatos no mundo sensorial, assim como experiências diretas de percepção da relatividade do movimento.

b) O amadurecimento influencia no entendimento?

Apresentamos nessa seção comparações entre as categorias de proficiência, categorias SOLO e categorias de explicitação com as classes de séries: primeira, segunda e terceira séries. Antes de relatar essa análise, fizemos testes para nos certificarmos de que não havia viés nas questões do questionário e que, portanto, as diferenças seriam adequadamente interpretadas.

Constatamos que os alunos do terceiro ano tiveram um desempenho melhor que os do primeiro e segundo, tanto em termos de proficiência como em termos de explicitação do entendimento. Apresentaram ainda, uma porcentagem maior de respostas correspondentes ao patamar formal de pensamento. Tomando-se a situação de Ensino como referência, esse resultado é um forte indício de que abordagens recursivas propiciam uma melhor aprendizagem de conceitos mais teóricos.

A partir dos resultados e discussões feitas na análise, podemos relatar algumas implicações da investigação realizada:

5.1 IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA ACADÊMICA

Nossos resultados mostraram que de modo geral os alunos funcionam nos níveis mais baixos do modo Concreto-Simbólico, ou operam em um modo mais baixo do que esse. Esse certamente não é o resultado esperado do processo de escolarização e da educação em Ciências. No entanto, segundo o modelo de Biggs e Collis tal resultado não é generalizável para outros domínios. Isso significa que, se testássemos a mesma população para o entendimento de outro tema, poderíamos obter um padrão de entendimento diferente, inclusive com muitos alunos operando nos modos mais altos da hierarquia dos modos de pensamento. O resultado só poderia ser interpretado negativamente se obtivéssemos esse mesmo padrão em vários temas de uma mesma disciplina, ou ainda de várias disciplinas. Não investigamos tal fato.

As propostas curriculares atuais dão muito valor às perspectivas contextualistas de ensino, mas nossos resultados nos chamam a atenção para os limites das estratégias que se baseiam na contextualização dos conteúdos. No modelo teórico de Biggs e Collis, adotado nessa pesquisa, isso significa adotar uma estratégia do tipo “bottom-up”, que tenta melhorar o entendimento no modo Concreto-Simbólico apelando para o funcionamento inicial nos modos sensório motor e icônico. MOREIRA e BORGES (2004) argumentam que as experiências vividas são importantes na elaboração de conceptualizações elementares e que se levarmos em conta e de forma adequada tais experiências vividas no ensino, poderemos proporcionar melhores e mais produtivas atividades para os alunos. Entretanto, o entendimento formal sobre conceitos mais abstratos não se realiza tendo-se como parâmetro somente elementos concretos. Nossa pesquisa aponta para a necessidade de outras estratégias para aprendizagem de conceitos mais teóricos, no sentido de possibilitar ao estudante um entendimento que não se restringe à habilidade em lidar com situações problemáticas, mas também de entender esses conceitos de maneira mais abstrata, mais próxima da concepção científica.

Tendo em vista a situação de ensino na qual a pesquisa foi realizada, nossos resultados indicam que abordagens recursivas favorecem o entendimento mais maduro de conceitos como Movimento Relativo e Sistema de Referência. Essa pesquisa demonstrou que os alunos do terceiro ano tiveram maior performance em questões de solução de problemas, além de conseguirem explicitar melhor os conceitos e ainda de apresentarem maior porcentagem de respostas correspondentes ao patamar formal de pensamento.

Interpretamos esse resultado como uma evidência de que currículos organizados em espiral, com mais recursividade, favorecem o entendimento de conceitos abstratos, do ponto de vista operacional, conforme sugerido por Millar e seus colaboradores (MILLAR e KING, 1993; MILLAR e LIM BEH, 1993), além de proporcionar também resultado similar relativo à capacidade explicitar. Esses resultados não podem ser generalizados para outros temas de Física, pois o modelo teórico que utilizamos para interpretar os resultados é intrinsecamente multimodal.

5.2 IMPLICAÇÕES PARA CONDUTAS NA SALA DE AULA

Verificamos que para conceitos mais abstratos, como o caso de Sistema de Referência, não há associação entre o saber dizer e o saber fazer; mas para o conceito de Movimento Relativo, os alunos que apresentaram maior proficiência conseguiram expor com mais clareza o seu entendimento, mesmo que não tenha sido no patamar formal. Ou seja, esse conceito é mais bem entendido, em termos concretos, do que o conceito de Sistema de Referência.

Se tomarmos como parâmetro a forma como tais conceitos são abordados, percebemos a importância da exposição verbal do professor para o entendimento mais consistente desses conceitos pelos alunos. A definição de Movimento Relativo geralmente é mais bem realizada do que a de Sistema de Referência, seja nos livros didáticos, seja na fala do professor. Dessa forma, podemos dizer que a expressão direta do conceito – seja nos textos ou na oralidade - influencia o entendimento do aprendiz. A conceitualização é relevante para que o estudante consiga apreender o significado dos conceitos, não somente no âmbito da aplicação em situações diversas com também em um nível de abstração mais elevado.

As diferentes abordagens de um mesmo conceito, em diferentes momentos da aprendizagem e com distintas relações, são essenciais para um entendimento mais consistente de conceitos pouco tangíveis, como evidenciado pela maior performance dos alunos que tiveram contato com os temas mais de uma vez no decorrer do Ensino Médio.

Nossos resultados apontam para o fato de que conceitos mais abstratos como os de Sistema de Referência e Movimento Relativo são mais bem entendidos pelos alunos na medida em que são abordados pelo professor e nos materiais didáticos, em termos de

definição mais explícita e também em termos de resolução de problemas; nesse último caso, o professor expõe uma argumentação que ajuda no entendimento. As abordagens recursivas também são essenciais para que o estudante construa progressivamente sua concepção, indo em direção a um pensamento mais formal.

Nossa pesquisa mostra ainda que há diferentes níveis ou patamares de entendimento que podem ser identificados de muitas formas com diferentes instrumentos. Os alunos podem apresentar um conhecimento não totalmente formalizado, mas suficiente para lidar com situações problemáticas de aplicação do conceito. Assim, em termos de avaliação, podemos dizer que nossos resultados apontam para a necessidade de utilizar diferentes métodos e distintos instrumentos, a fim de identificar não só o conhecimento do estudante como também o nível de formalização do seu pensamento.

Enfim, estamos cientes dos limites dos temas abordados e das restrições relativas à interpretação dos dados, mas acreditamos que nossos resultados, obtidos a partir de um embasamento teórico e metodológico consistente, são relevantes para apontar perspectivas curriculares e metodológicas, bem como proporcionar ao professor uma reflexão sobre sua conduta e suas estratégias de ensino dentro da sala de aula.

6 BIBLIOGRAFIA

1. ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2000. v. 1.
2. AMANTES, Amanda; BORGES, Oto. Analisando o entendimento sobre sistema de referência e movimento relativo a partir de um modelo cognitivo estrutural. In. : ENCONTRO DE PESQUISA E ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas, MG. **Anais...** Jaboticatubas, MG: [s.n.], 2004.
3. ARRUDA, Sergio M. Sobre as origens da relatividade especial: relações entre quanta e relatividade em 1905. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 32-46, abr. 1996. ISSN: 0102-3594.
4. BAKER, Frank B. **The basics of item response theory**. [S.l.]: Eric, 2001. 172p.
5. BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.
6. BIGGS, J.; COLLIS, K. Multimodal Learning and the quality of intelligent behavior. In: ROWE, Helga A. H. (Ed.), **Intelligence: reconceptualization and measurement**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1991. cap. 5, p.57-76.
7. BORGES, Oto; AMANTES, Amanda. O Entendimento de Estudantes do Ensino Médio sobre Sistema de Referência e Movimento Relativo. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES ENSINO DE CIÊNCIAS, 4, 2003, Bauru, SP. **Anais...** Bauru, SP: [ABRAPEC], 2003.
8. COLLIS, K. F.; JONE, T.; SPROD, J. M.; FRASER, S. P. Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 45-66, 1998.
9. DOLL, Willian. **Currículo: uma perspectiva pós-moderna**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 199p.

10. ERNEST, P. The Philosophy of Mathematics Education. In.: SOCIAL CONSTRUCTIVISM AS A PHILOSOPHY OF MATHEMATICS. Albany: SUNY, 1998.
11. FERREIRA, Doralice Bortoloci; VILLANI, Alberto. Uma reflexão sobre prática e ações na formação de professores para o ensino de física. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 63-76, mai./ago. 2002.
12. FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de Estatística**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1978. 165p.
13. FRADE, C.; BORGES, O. Tacit Knowledge in Curricular Goals in Mathematics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE TEACHING OF MATHEMATICS (AT THE UNDERGRADUATE LEVEL), 2., 2002, Hersonissos. **Anais...** Hersonissos: [s.n.], 2002.
14. FRENCH, A. P. **Relatividade especial**: curso de física Del M. I. T. (Massachusetts Institute of Technology), Barcelona: Reverté, 1974.331p. Título original: Special Relativity. Tradução de: (traducida al español por el: J. Aguilar Peris. ISBN: 84.291-4.100-6 obra completa.
15. GARCIA, Rolando. **O conhecimento em construção** – das formulações de Jean Piaget à teoria dos sistemas complexos. Porto Alegre: Artmed, 2002. 192p.
16. GRUIJTER, D.; KAMP, L. **Statistical Test Theory for education and Psychology**. [S.l.]: [s.n.], 2002. 186p.
17. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of physics** – extended. New York: John Wiley & Sons, 1997.
18. HIEBERT, J. e LEFEVRE, P. **Conceptual and Procedural Knowledge in Mathematics: An Introductory Analysis**, (James Hiebert, ed.), Hillsdale (NJ), Chapter 1, 1986. p. 1-27.
19. KARMILLOFF-SMITH, Annette. **Beyond Modularity**: a developmental perspective on cognitive science. Massachusetts: The MIT Press, 1995. 234p.

20. KITCHER, P. **The Nature of Mathematical Knowledge**. Oxford: Oxford University Press, [s.d.].
21. KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. 2.ed. enl.. Chicago: Chicago University Press, 1970.
22. LORENTZ, H. A.; EINSTEIN, A.; MINKOWSKI, H. **Textos fundamentais da física moderna: o princípio da relatividade** Tradução Mário José Saraiva. 3.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, [1983]. v.1. Título original: Das relativitätsprinzip. Conforme 6 ed. de B. G. Teubner, Stuttgart, 1958.
23. MARTINS, Carmen Maria de Caro. **Explicações de estudantes do ensino médio sobre o murchar de uma folha de alface temperada: evidências de mudança de teoria-em-uso**. 2003. 174 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
24. MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **The tree of knowledge: the biological roots of human understanding**. Ed. Rev. Boston: Shambhala, 1992. 269p.
25. McCOLLAM, K. M. SCHMIDT. Latent trait and latent class models. In G. M. Marcoulides (Ed.). **Modern methods for business research**. [S.l.]: Erlbaum. 1998, p. 23-46.
26. MILLAR, Robin. Constructive criticisms. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 11, p. 587-596, 1989. Special Issue.
27. MILLAR, Robin; KING, Tom. Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 339-349, 1993.
28. MILLAR, Robin; LIM BEH, Kian. Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 351-361, 1993.
29. MISLEVY, Robert J.; BOCK, R. Darrel. **Bilog 3: Item Analysis and Test Scoring with Binary Logistic Models**. 2.ed. Chicago: Scientific Software International. 1990, 78p.

30. MOREIRA, Adelson Fernandes; BORGES, Oto. Percepção e elaboração de conceitos. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 8, 2002, Águas de Lindóia. **Atas do ...** São Paulo: SBF, 2002. CD-ROM, arquivo: CO19_2.pdf.
31. MOREIRA, Adelson Fernandes; BORGES, Oto. Tempo vivido, tempo medido. In.: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas, MG. **Atas do...** São Paulo: SBF, (CD-Rom, no prelo).
32. MOREIRA, Marco Antônio. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, mar., 2002.
33. NESPOR, JAN. Advice for students and advisors working on dissertations based on qualitative research. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <<http://www.tandl.vt.edu/nespor/ADVICE.html>>. Acesso em 18 jun. 2002.
34. OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n.1, mar. 2001.
35. PANIZZON, Debra. Using a cognitive structural model to provide new insights into students' understandings of diffusion. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1427-1450, 2003.
36. PASQUALI, Luiz. **Psicometria**: teoria dos testes na psicologia e na educação. Petrópolis: Vozes, 2003. 395p.
37. PEGG, J.; DAVEY, G. A synthesis of two models: interpreting student understanding in geometry. In: LEHRER, R. and CHAZAN, C. (Eds.), **Designing learning environments for developing understanding of geometry and space**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 109–135, 1998.
38. PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física** – parte I. São Paulo: EDART, 1966.
39. PIAGET, Jean. **Equilíbrio das Estruturas Cognitivas**, Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

40. PIAGET, Jean. **Fazer e Compreender**. São Paulo: Melhoramentos; EDUSP, 1978. 186p.
41. PIAGET, Jean; GARCIA, Rolando. **Psicogênese e História das Ciências**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1987. 250p.
42. PIETROCOLA, M.; OFUGI, C. D. R. Análise de artigos sobre ensino de relatividade restrita pela transposição didática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2000. p.1-13.
43. POLANYI, Michael. **Personal Knowledge**. London: Routledge & Kegan Paul, 1962:1958. 428p.
44. POLANYI, Michael. **The Tacit Dimension**. Gloucester (Mass): Peter Smith, 1983. 108p.
45. RAMSAY, J. O. **TestGraf**: a program for the Graphical Analysis of Multiple Choice Test and Questionnaire Data. Montreal: McGill University, 2000.
46. RYLE, Gilbert. **The concept of Mind**. Chicago: Chicago University Press, 1949. 334p.
47. SCHÖN, Donald A. **Educating the Reflective Practitioner**. San Francisco: Jossey-Bass, 1987.
48. SKEMP, R. R. Relational understanding and instrumental understanding. **Mathematics Teaching**. [S.l.], n.77, p.20-26, 1976.
49. SPIEGEL, Murray R. **Estatística**: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos. Ed. Rev. Original: Schaum's outline of theory and problems. São Paulo: Mc Graw-hill do Brasil, 1977. 580p. Tradução de: Pedro Cosentino.
50. STATXACT, versão 6: Statistical Software for Exact Nonparametric Inference. [S.l.]: Cytel Studio, [s.d.]. v. 1-3.
51. SUDHIR PANSE. Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v.16, n. 1, p. 63-82, 1994.

52. VARELLA, Francisco J. et al. (Ed.) **Naturalizing Phenomenology: issues in contemporary phenomenology and cognitive science**. Stanford, CA.: Stanford University Press, 1999. 642p. ISBN 0-8047-3610-3.
53. VILLANI, A.; ARRUDA, Sergio de Mello. Special Relativity Theory, Conceptual Change and History of Science. **Science & Education**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p.85-100, 1998.
54. VILLANI, A et. al. Filosofia da Ciência, História da Ciência e Psicanálise: analogias para o ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 1, p.37-55, 1997.
55. VILLANI, A.; PACCA, Jesuina Lopes de Almeida. Students' Spontaneous Ideas about the Speed of Light. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p.55-66, 1987.

7 APÊNDICE

7.1 QUESTIONÁRIO APLICADO

Tema: Referencial Inercial

Esse questionário faz parte de uma pesquisa de mestrado. Sua participação é fundamental para a coleta de dados. É garantido que em nenhuma hipótese você será identificado e o sigilo em torno de suas contribuições será mantido.



Amanda Amantes Neiva Ribeiro

Eu, _____, da ____ série do segundo grau, tenho conhecimento de que, ao responder o questionário sobre referencial inercial no Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais, estarei participando voluntariamente de um projeto de pesquisa em Ensino e os dados coletados a partir de minha participação poderão ser utilizados em prol dessa pesquisa.

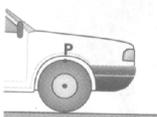
(assinatura)

Questão 1: Diga o que você entende pelas expressões:

a) Sistema de referência

b) Movimento relativo

Questão 2: Considere um automóvel movendo-se com velocidade constante numa estrada plana horizontal. Suponha que os pneus rolem sem escorregar e não se deformem no contato com o chão. Seja P um ponto na periferia de um dos pneus. Determine (desenhe ou descreva) a forma da trajetória descrita por esse ponto, tomando como referencial:



a) uma porta do veículo

b) uma árvore à beira da estrada

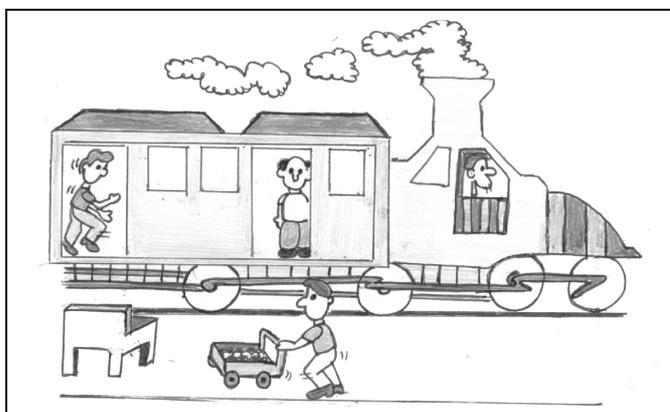
Questão 3: Dois carrinhos se movem com a mesma velocidade paralelamente um ao outro. Considere que S1 é o sistema fixado no carrinho 1 e que S2 é o sistema fixado no carrinho 2. Um garoto no carrinho 2 joga uma bola verticalmente para cima. O movimento será vertical em relação a S1?

Não	Sim	Explique
-----	-----	----------

Questão 4: Observe o desenho ao lado e leia as proposições consideradas. A seguir, coloque V para as sentenças verdadeiras e F para as falsas:

I - O desenho seguinte mostra um trem em movimento próximo a uma estação.

Um passageiro está em pé à porta do trem. Há um banco na estação. Considere que S1 é um sistema de referência fixo na plataforma e que S2 é um sistema de referência fixo no trem



- a) o passageiro está em movimento se visto de S1 e o banco está parado se visto de S2
 b) o passageiro está em movimento se visto de S1 e o banco está em movimento se visto de S2
 c) o passageiro está parado se visto de S2 e o banco está parado se visto de S1
 d) o banco realmente está parado
 e) o passageiro realmente está em movimento

II - Imagine agora que um vendedor caminha na plataforma. Dentro do trem uma criança corre em direção à frente dele. Considere que S1 é o sistema de referência fixo na plataforma e S2 o sistema fixo no trem

- a) a criança está em movimento se visto de S1 e parada se visto de S2
 b) a criança está parada se visto de S1 e o vendedor está em movimento se visto de S2
 c) a criança está em movimento se visto de S1 e vendedor está parado se visto de S2
 d) a criança está em movimento se visto de S1 e o vendedor está em movimento se visto de S2
 e) o vendedor realmente está em movimento
 f) a criança realmente está em movimento
 g) o vendedor está parado se visto de S1 e em movimento se visto de S2

Questão 5: Observe o desenho ao lado.

Nele temos:

P₁- Pessoa em uma rampa que desce

P₂- Pessoa em uma rampa que sobe

P₃- Pessoa andando na rampa que sobe

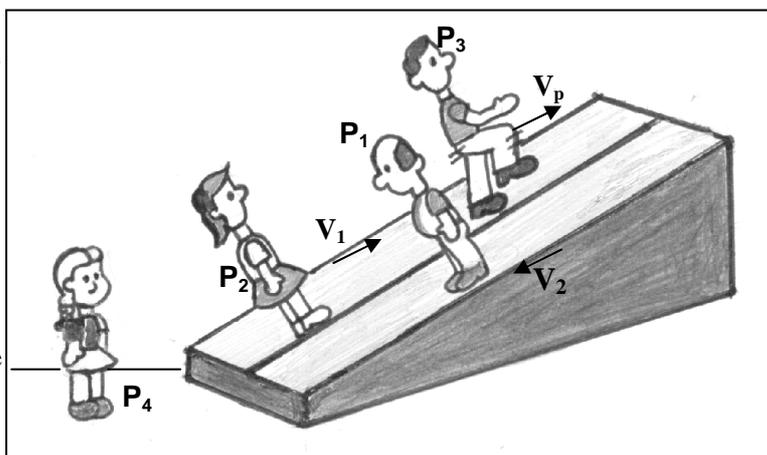
P₄. Pessoa fora das rampas

Seja:

V₁= 3 m/s a velocidade da rampa que sobe

V₂= 4 m/s a velocidade da rampa que desce

V_p= 2 m/s a velocidade que pessoa que sobe a rampa se desloca em relação a essa rampa



Analise as sentenças marcando V para as respostas verdadeiras e F para as falsas:

- a) A velocidade de P₁ em relação a P₄ é 4 m/s
 b) A velocidade de P₃ em relação a P₂ é de 5 m/s
 c) P₁ anda 9 metros a cada segundo se observado por P₃
 d) P₃ é visto por P₄ se deslocando 5 metros a cada segundo
 e) Para a escada rolante que sobe, P₃ se desloca 2 metros a cada segundo
 f) P₃ observa P₁ se afastando com velocidade de 6 m/s
 g) A velocidade de P₁ em relação a P₂ é 1 m/s.
 h) P₂ observa P₃ se aproximando com velocidade de 5 m/s
 i) P₄ está em repouso em relação à Terra
 j) P₁ observa P₄ se movendo em sua direção com velocidade de 4m/s
 k) P₃ observa P₄ se afastando 2 metros a cada segundo
 l) Para a rampa que desce, P₁ anda 4 metros a cada segundo
 m) P₂ é visto por P₄ se deslocando 6 metros a cada 2 segundos.
 n) P₃ observa P₂ se aproximando com velocidade de 1m/s
 o) Em relação à rampa que sobe, P₂ está em repouso
 p) P₂ observa P₄ em repouso
 q) P₃ tem velocidade de 5m/s em relação à Terra

- r) () P_2 observa P_1 se aproximando com velocidade de 7 m/s
 s) () P_1 se desloca 12 metros a cada 3 segundos para o referencial terrestre.

Questão 6: Considere três veículos A, B e C. Se A está em movimento em relação a B e B está em movimento em relação a C:

- a) É possível que A esteja em movimento em relação a C? Justifique
 b) Podemos garantir que A está em movimento em relação a C? Justifique

7.2 EXPLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE ESTIMAÇÃO DA PROFICIÊNCIA

A equação para a estimação da proficiência pode ser expressa da seguinte forma¹⁸:

$$\theta_{s+1} = \theta_s + \frac{\sum_{i=1}^N a_i [u_i - P(\theta_s)]}{\sum_{i=1}^N a_i^2 P_i(\theta_s) Q_i(\theta_s)}$$

Onde:

θ_s : Proficiência estimada para cada respondente com iteração s

a_i : índice de discriminação do item i

u_i : resposta dada pelo respondente (=1 se correta e =0 se incorreta)

$P_i(\theta_s)$: probabilidade de acerto do item i em relação à CCI, na habilidade de nível θ com iteração s

$Q_i(\theta_s) = 1 - P_i(\theta_s)$: probabilidade de ser dada resposta incorreta ao item i , em relação à CCI, na habilidade θ com iteração s .

Inicialmente, os θ_s possuem valores arbitrários como 1, por exemplo. A probabilidade de ser dada uma resposta correta para cada um dos N itens é calculada nesse nível de habilidade, usando-se os parâmetros fornecidos pelo modelo da CCI. O termo da direita então é avaliado. Esse é o ajustamento do termo, denotado por $\Delta\theta$. O valor θ_{s+1} é obtido pela adição do $\Delta\theta$ aos θ_s . Esse valor θ_{s+1} se torna o θ_s na próxima iteração. O numerador do termo de ajustamento contém a essência do procedimento. O termo $u_i - P(\theta_s)$ é a diferença entre as respostas dos examinandos aos itens e a probabilidade da resposta ser

¹⁸ Para cada respondente, a habilidade é estimada individualmente.

correta no nível de habilidade θ_s . Agora, como a habilidade estimada se aproxima da habilidade do examinando, a soma das diferenças entre os valores de u_i e $P_i(\theta_s)$ diminuem. Então, a meta é encontrar os valores produzidos da habilidade estimada de $P_i(\theta_s)$ para todos os itens simultaneamente, de forma a minimizar essa soma. Quando isso acontece, os termos $\Delta\theta$ se tornam o menor possível, e o valor de θ_{s+1} não mudará de iteração para iteração. Esse valor final θ_{s+1} é então usado como a habilidade estimada do respondente. Essa habilidade estará na mesma escala métrica de valores dos parâmetros. Uma boa característica da equação é que ela pode ser usada com todos os três modelos de Curva Característica do Item, embora o modelo de 3 parâmetros exija pequenas modificações. O erro padrão dessa habilidade seria a medida de quanto o valor de θ estimado varia em torno do valor do parâmetro desconhecido θ .

Exemplo para ilustração:

Seja um teste com três itens. Em um modelo de 2 parâmetros, conhecemos:

$$b = -1 \quad a = 1$$

$$b = 0 \quad a = 1.2$$

$$b = 1 \quad a = 0.8$$

Para um examinando, temos as repostas:

Item	resposta
1	1
2	0
3	1

O valor estimado *a priori* para a habilidade do examinando é $\theta_s = 1.0$

Primeira Iteração:

item	u	P	Q	a (u-P)	a*a (PQ)
1	1	0.88	0.12	0.119	0.105
2	0	0.77	0.23	-0.922	0.255
3	1	0.5	0.5	0.400	0.160
			soma	-0.403	0.520

$$\Delta\theta_s = -0.403/0.520 = -0.773, \quad \theta_{s+1} = 1.0 - 0.773 = 0.227$$

Segunda Iteração

item	u	P	Q	a (u-P)	a*a (PQ)
1	1	0.77	0.23	0.227	0.175
2	0	0.57	0.43	-0.681	0.353
3	1	0.35	0.65	0.520	0.146
			soma	0.066	0.674

$$\Delta\theta_s = 0.066/.674 = 0.097, \theta_{s+1} = 0.227+0.097 = 0.324$$

Terceira Iteração

item	u	P	Q	a (u-P)	a*a (PQ)
1	1	0.79	0.21	0.2102	0.1660
2	0	0.60	0.40	-0.7152	0.3467
3	1	0.37	0.63	0.5056	0.1488
			soma	0.0006	0.6615

$$\Delta\theta_s = 0.0006/.6615 = 0.0009, \theta_{s+1} = 0.324+0.0009= 0.3249$$

Nesse ponto o processo termina porque o valor do ajustamento (0.0009) é muito pequeno. Então, a habilidade estimada para o examinando é 0.33.

Através da equação para o cálculo do erro padrão, o programa chega ao valor:

$$SE(\theta) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N a_i^2 P(\theta)Q(\theta)}} = 1,23$$

Dessa forma, a proficiência não foi estimada de forma muito precisa porque apresentou um alto desvio padrão. Esse resultado foi devido ao fato de que somente três itens foram usados para essa estimação.

Essa descrição foi traduzida de: BAKER, Frank B. **The basics of item response theory**. [S.l.]: Eric, 2001. 172p.