

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FORMAÇÃO
CIENTÍFICA, EDUCACIONAL E TECNOLÓGICA - PPGFCET

WILTON GIMENES BARBOSA

INSERÇÃO DE CONCEITOS DE DINÂMICA
ROTACIONAL NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DO
LABORATÓRIO NÃO ESTRUTURADO MEDIADO
POR VIDEOANÁLISE

CURITIBA

2016

WILTON GIMENES BARBOSA

**INSERÇÃO DE CONCEITOS DE DINÂMICA ROTACIONAL NO
ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DO LABORATÓRIO NÃO
ESTRUTURADO MEDIADO POR VIDEOANÁLISE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências do Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Ciência, Tecnologia e Ambiente Educacional.

Orientador: Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho

CURITIBA

2016

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação e o seu respectivo Produto Educacional estão licenciados sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B238i
2016 Barbosa, Wilton Gimenes
 Inserção de conceitos de dinâmica rotacional no ensino médio
 através do laboratório não estruturado mediado por videoanálise /
 Wilton Gimenes Barbosa.-- 2016.
 100 f. : il. ; 30 cm.

 Texto em português, com resumo em inglês
 Disponível também via World Wide Web
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal
 do Paraná. Programa de Pós-graduação em Formação Científica,
 Educacional e Tecnológica, Curitiba, 2016
 Bibliografia: f. 95-100

 1. Física – Estudo e ensino (Ensino médio). 2. Inércia
 (Mecânica). 3. Movimento. 4. Ciência – Estudo e ensino –
 Dissertações. I. Saavedra filho, Nestor Cortez. II. Universidade
 Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em
 Formação Científica, Educacional e Tecnológica. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 507.2

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

TERMO DE APROVAÇÃO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 12/2016

**"INSERÇÃO DE CONCEITOS DE DINÂMICA ROTACIONAL NO ENSINO MÉDIO
ATRAVÉS DO LABORATÓRIO NÃO ESTRUTURADO MEDIADO POR
VIDEOANÁLISE"**

Wilton Gimenes Barbosa

Esta dissertação foi apresentada às 14h00 do dia 03 de Agosto de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ensino de Ciências**, como área de concentração em *Ciência, Tecnologia e Ambiente Educacional* e linha de pesquisa *Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Ciências* do Mestrado Profissional do Programa de **Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica**. O candidato foi Arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores Abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho
(UTFPR - orientador)

Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Junior
(UTFPR)

Prof. Dr. Edival de Moraes
(Pontifícia Universidade Católica do Paraná)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os Orixás por sempre terem iluminado e protegido meu caminho. Kaô Cabecilê!

À minha esposa, Daiane Alduan, pelo amor, carinho, apoio e suporte emocional. Ao meu Pai, Nilson, e minha mãe, Rosely, por todo o ensinamento, paciência, esforço e amor designado a mim durante toda a vida.

Ao meu orientador, Nestor Cortez Saavedra Filho, por toda a paciência, compreensão, incentivo e pelas valiosas contribuições prestadas durante esta jornada.

À minha família espiritual, especialmente minha mãe, Jaqueline Klein, e meu pai, José Geremias Neto, que juntamente com seus guias contribuíram indiretamente para esse trabalho, sempre me equilibrando, orientando e ajudando nas necessidades.

Ao meu amigo e colega Fausto Hideki Matsunaga por me direcionar inúmeras vezes, e me motivar durante todo o caminho do mestrado. E ao professor Jorge A. Lenz que através da sua imensa capacidade experimental contribuiu de maneira significativa para a realização das práticas experimentais.

Ao programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica. À UTFPR, em especial ao departamento de Física, que me possibilitou a realização do Curso de Mestrado e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Colégio Marista Santa Maria, por abrir as portas para a realização desse trabalho, bem como seus alunos que participaram e contribuíram sempre com muita boa vontade.

Tantas pessoas colaboraram de alguma forma para a concretização deste trabalho, que espero não cometer indelicadezas e, tampouco, injustiças. Aqueles que porventura não foram citados, mas fizeram parte desse processo, por favor, sintam-se contemplados.

RESUMO

Nessa dissertação investiga-se a viabilidade de transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional para o ensino médio, utilizando-se dos conceitos do laboratório não estruturado mediado por videoanálise. Dentre os conceitos da dinâmica rotacional, focou-se em de inércia, energia cinética rotacional e momento angular. Para a videoanálise, utilizou-se o software *Tracker*, por favorecer a interação entre os experimentos propostos, com os recursos de imagem e vídeo, além de ser familiar aos estudantes que participaram das atividades. Esta pesquisa fundamentou-se nos princípios da transposição didática de José de Pinho Alves Filho, que inicialmente foram trabalhadas por Chevallard, e nas competências e habilidades apontadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, bem como nos seus apontamentos para uma reestruturação do ensino de Física. A metodologia de pesquisa foi proposta de modo a investigar a viabilidade do processo de transposição didática segundo as regras propostas pelo referencial teórico, através da utilização do *Tracker*, no contexto do laboratório não estruturado. Para isso, três atividades experimentais foram realizadas com alunos da segunda série do ensino médio de um colégio da rede particular de Curitiba. A partir da análise do material produzido pelos alunos e registros do professor, procurou-se indícios de aprendizagem do tema proposto, por ser inédito no ensino médio. Nessa pesquisa verificou-se a viabilidade da transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional para o ensino médio.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física. *Tracker*. Laboratório não estruturado. Dinâmica Rotacional. Videoanálise. Transposição Didática.

ABSTRACT

This dissertation investigates the feasibility of transposition didactics of the content of rotational dynamics for high school, using the concepts of the lab not structured mediated by videoanalysis. Among the concepts of dynamic rotational, focused on inertia, kinetic energy and rotational angular momentum. For videoanalysis, we used the software Tracker, to encourage the interaction between the experiments proposed, with the resources of image and video, as well as be familiar to students who participated in the activities. This research was based on the principles of the transposition didactics of José de Pinho Alves Filho, who initially were worked by Chevallard, and skills and abilities identified by the National Curriculum Parameters, as well as in his notes for a restructuring of the teaching of Physics. The research methodology was proposed in order to investigate the feasibility of the process of transposition didactics according the rules proposed by the theoretical framework, through the use of Tracker, in the context of the lab not structured. For this reason, three experimental activities were conducted with students of the second series of high school in a college of the private network of Curitiba. From the analysis of the material produced by students and records of the teacher, it was evidence of learning the theme proposed by being unheard of in high school. In this study, it was found that the viability of the transposition didactics of the content of rotational dynamics for middle school.

Keywords: Teaching of Physics. Tracker. Lab not structured. Rotational Dynamics. Videoanalysis. Transposition Didactics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PARTÍCULA GIRANDO EM CIRCULO	18
FIGURA 2 - ALGUNS MOMENTOS DE INÉRCIA	22
FIGURA 3 - PRODUTO VETORIAL ENTRE DOIS VETORES.....	24
FIGURA 4 - DEFINIÇÃO DE MOMENTO ANGULAR DE UMA PARTÍCULA	24
FIGURA 5 - TELA INICIAL DO <i>TRACKER</i>	34
FIGURA 6 - TELA DO <i>TRACKER</i> DURANTE UMA ANÁLISE DE VÍDEO	35
FIGURA 7 - ALGUNS ESTRUTURA DO LABORATÓRIO COM OS ALUNOS	47
FIGURA 8 - CONJUNTO CONTENDO O CARRINHO DO BATMAN	59
FIGURA 9 - VENTANA PRESA AO BARBANTE	60
FIGURA 10 - MATERIAIS UTILIZADOS: PISTOLA PARA COLA QUENTE	60
FIGURA 11 - MATERIAIS UTILIZADOS: MASSA DE MODELAR.....	60
FIGURA 12 - MATERIAIS UTILIZADOS: CANO DE PVC.....	61
FIGURA 13 - PROCESSO DE PRODUÇÃO	63
FIGURA 14 - OS DOIS ANÉIS DE PVC.....	63
FIGURA 15 - MEDIDA DA MASSA DO ANEL.....	64
FIGURA 16 - MEDIDA DA MASSA DO ANEL.....	64
FIGURA 17 - EQUIPE 01 NA ATIVIDADE 01.....	69
FIGURA 18 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 01.....	69
FIGURA 19 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 01: ACELERAÇÃO.....	70
FIGURA 20 - ANÁLISE DA EQUIPE 01.....	71
FIGURA 21 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 01: VELOCIDADE PELO TEMPO	71
FIGURA 22 - ANÁLISE DA EQUIPE 02.....	72

FIGURA 23 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 02: MASSA A.....	73
FIGURA 24 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 02: MASSA B.....	73
FIGURA 25 - ANÁLISE DA EQUIPE 03.....	74
FIGURA 26 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 03.....	75
FIGURA 27 - ANÁLISE DA EQUIPE 04.....	76
FIGURA 28 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 04: VELOCIDADE PELO TEMPO.....	77
FIGURA 29 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 04: COMPONENTES.....	77
FIGURA 30 - GRÁFICO PRODUZIDO PELA EQUIPE 04: VELOCIDADES.....	78
FIGURA 31 - RAMPA SENDO PREPARADA.....	80
FIGURA 32 - RAMPA FINALIZADA.....	80
FIGURA 33 - DESCIDA NA RAMPA.....	81
FIGURA 34 - ANÁLISE NA RAMPA	83
FIGURA 35 - COMPARATIVO ENTRE AS GRANDEZAS.....	85

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	09
1.1 - JUSTIFICATIVA	15
1.2 - RELATO DE EXPERIÊNCIA.....	16
2 - ASPECTOS TEÓRICOS	17
2.1 - DESCRIÇÃO FÍSICA DO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO	17
2.2 - LABORATÓRIO DIDÁTICO	25
2.2.1 - LABORATÓRIO NÃO ESTRUTURADO (LNE)	27
2.3 - TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)	29
2.3.1 - VIDEOANÁLISE PELO SOFTWARE <i>TRACKER</i>	31
2.4 - PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS (PCN)	35
2.5 - A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA SEGUNDO JOSÉ DE PINHO ALVES FILHO	39
2.6 - TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA POR YVES CHEVALLARD	42
2.7 - INTEGRAÇÃO DAS TEORIAS	44
3 - METODOLOGIA	50
3.1 - METODOLOGIA DE PESQUISA	52
3.2 PROCEDIMENTOS	55
3.2.1 - RECAPITULAÇÃO DAS GRANDEZAS DO MOVIMENTO CIRCULAR	58
3.2.2 - MOMENTO DE INÉRCIA	60
3.2.3 - CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR	65
4 - RESULTADO	66
4.1 -RESULTADOS DA RECAPITULAÇÃO DAS GRANDEZAS DO MOVIMENTO CIRCULAR..	67
4.1.1 - RESULTADOS DA EQUIPE 1	68

4.1.2 - RESULTADOS DA EQUIPE 2	72
4.1.3 - RESULTADOS DA EQUIPE 3	74
4.1.4 - RESULTADOS DA EQUIPE 4	75
4.2 - RESULTADOS DA ATIVIDADE DO MOMENTO DE INÉRCIA	79
4.3 - RESULTADOS DA ATIVIDADE DE CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR	84
4.4 - INTERLIGAÇÃO DOS RESULTADOS	86
5 - CONCLUSÃO.....	93
6 - REFERÊNCIAS	95

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa propõe uma possibilidade de inserção, na disciplina de Física para o ensino médio, de conceitos básicos relacionados à dinâmica do movimento rotacional, mais especificamente, conceitos sobre energia cinética rotacional, momento de inércia e momento angular. Para isso, o trabalho será fundamentado na utilização dos conceitos do laboratório não estruturado, mediados pela videoanálise realizada com o software *Tracker*, e na teoria de transposição didática de José de Pinho Alves Filho, que carrega consigo proposições originais de Chevallard (CHEVALLARD, 1998).

O ensino médio no Brasil, especialmente a partir de 1996, passou por uma reestruturação. Algumas mudanças foram influenciadas a partir da nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação (BRASIL, 1996) de 1996 (Lei 9.394/96), e outras posteriormente informadas e sugeridas nos Parâmetros Curriculares (BRASIL 2000, 2002) e Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2012). Dentro desta perspectiva o ensino de Física também vem se modificando e se moldando, adequando-se às novas propostas.

A partir das concepções e diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2002), estipulou-se um novo sentido ao ensino de Física. Trata-se de construir uma visão do ensino de física voltado para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante, solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade. As ideias centrais dessas mudanças, no que diz respeito ao ensino de Física, é deixar de concentrar na memorização de fórmulas ou repetições automatizadas de procedimentos, e também deixar de trabalhar com situações artificiais ou extremamente abstratas, distantes da realidade dos estudantes.

Perante essa nova perspectiva de ensino de Física, com diversas recomendações e procedimentos novos, para dar um novo significado ao ensino de Física, pensar a forma de trabalhar, e tentar responder "o que ensinar?" E "como ensinar?" É parte importante do trabalho atual do professor. Novas perspectivas no ensino podem requerer novas metodologias para que a

construção sólida do conhecimento em Física não seja comprometida. Essas considerações são colocadas pelos PCN (BRASIL, 2000, 2002), enfatizando o momento de reconstrução do ensino de Física:

Até que ponto se deve desenvolver o formalismo da Física? Como transformar o antigo currículo? O que fazer com pêndulos, molas e planos inclinados? Que tipo de laboratório faz sentido? Que temas devem ser privilegiados? É possível “abrir mão” do tratamento de alguns tópicos como, por exemplo, a Cinemática? E na Astronomia, o que tratar? É preciso introduzir Física Moderna? Essas e outras questões estão ainda para muitos sem resposta, indicando a necessidade de uma reflexão que revele elementos mais concretos e norteadores. (BRASIL, 2002, pág. 60)

Em meio às dúvidas para as quais os Parâmetros Curriculares não fornecem uma resposta definitiva, indicando que há necessidade de uma reflexão maior sobre elas, e também sobre a nova visão de ensino de Física, entende-se que alguns conteúdos não usualmente tratados no ensino médio poderiam ser introduzidos se transpostos adequadamente, com o formalismo apropriado à situação. Quando observado o resultado do Programa Nacional do Livro Didático de 2015 (PNLD 2015), publicado em 2014, nota-se, novamente, uma visão não fechada sobre os conteúdos exigidos pelo programa:

A Física escolar deve contemplar, portanto, a escolha cuidadosa dos elementos principais mais importantes presentes na estrutura conceitual da Física como uma disciplina científica, uma área do conhecimento sistematizado, em termos de conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos (PNLD, 2015)

Ao analisar o conteúdo programado das 14 coleções de livros aprovadas no PNLD 2015, fornecido pelo programa, nota-se que em nenhum deles o conteúdo de mecânica rotacional apresenta o rolamento de um corpo extenso.

Uma possível explicação para não se tratar de alguns conteúdos da dinâmica rotacional, como por exemplo energia cinética rotacional e momento angular, é a complexibilidade matemática envolvida em suas definições. Na definição de momento angular (HALLIDAY, 2008) encontra-se um produto vetorial entre o vetor posição e o vetor momento linear. Como a operação do produto entre dois vetores não é um tema tratado no ensino médio acredita-se que seja um dos motivos de não se aprofundar o conteúdo até esse ponto.

A energia cinética de rotação também é difícil de ensinar sem usar diretamente cálculos mais avançados, pois em sua definição encontra-se o momento de inércia, um problema de se trabalhar com o momento de inércia de um corpo, é que, conforme o formato do corpo e sua distribuição de massa mudam, ele terá um momento de inércia diferente. Logo, um cálculo diferente será feito para obter o momento de inércia para cada geometria de corpo, e esse cálculo requer um desenvolvimento matemático acima do conteúdo abordado no ensino médio.

Evidencia-se, portanto, uma incompatibilidade desse conteúdo de física com a base matemática usual dos estudantes do ensino médio. Porém, esse conteúdo faz parte do cotidiano do estudante e está nas diretrizes propostas aos professores de Física (BRASIL, 2012). Logo, para contornar esse problema é necessário criar um método para organizar o conteúdo e a forma de transmiti-lo adequadamente para os alunos do ensino médio. Uma possibilidade é apontada por José de Pinho Alves Filho (2000) e chama-se Transposição Didática (TD): "um instrumento de análise do processo de transformação do conhecimento ou "saber". Através dele é possível estabelecer uma argumentação para entender as diferentes formas do saber e suas estruturas organizacionais".

Segundo Alves Filho, para que ocorra a transposição didática é necessário que ocorra um evento motivador para que o "saber" possa sofrer as transformações: "Um processo transformador exige a determinação de um

ponto de partida ou ponto de referência" (Alves Filho 2000, pág. 219). Para a presente pesquisa o ponto de partida da TD será uma situação proposta no laboratório didático de Física: o rolamento (translação + rotação) de corpos em um plano inclinado. Situação que possivelmente não poderá ser devidamente explicada pelo conhecimento prévio dos alunos.

Para efetuar a TD do conteúdo de energia cinética rotacional e momento angular, são utilizados dois recursos metodológicos: o software de videoanálise *Tracker* e o Laboratório Não Estruturado.

O software *Tracker* foi desenvolvido a partir do projeto *Open Source Physics* (OPEN SOURCE PHYSICS, 2011 *apud* BEZERRA JR., 2012), que permite realizar análise de vídeos quadro a quadro, graças ao que, é possível o estudo de diversos tipos de movimento a partir de filmes feitos com câmaras digitais ou *webcams* de computadores comuns e telefones celulares (BROWN *apud* BEZERRA JR., 2012). O *Tracker* é um software livre, que fornece algumas variáveis referentes ao movimento, possibilitando uma manipulação simples e rápida dos dados, segundo Bezerra Jr. (2012)

O software fornece automaticamente os valores de distância a partir de um padrão (que pode ser uma escala graduada colocada no pano de fundo da filmagem). O *software* também identifica automaticamente a quantidade de quadros por segundo empregadas pela câmera digital usada (o que permite o uso de câmeras digitais diversas). Além disso, os dados de posição e tempo são apresentados em uma tela que possibilita a análise e manipulação desses dados de forma simples e rápida. Por esse motivo, a proposta do *Tracker* é adequada ao tempo e ao espaço onde ocorreria uma aula de laboratório de Física, ou mesmo como apoio a uma aula expositiva.

Entende-se que o uso de ferramentas tecnológicas, como o software *Tracker*, se enquadra com as regras de modernização do saber escolar proposto por Alves Filho (ver capítulo 2.5), principalmente quando usadas concomitantemente com os conceitos estruturantes da teoria do laboratório não estruturado (ver capítulo 2.2.1). "A modernização faz-se necessária, pois o desenvolvimento e o crescimento da produção científica são intensos" (Alves Filho, 2004). Entende-se também que essa proposta se enquadra nos

parâmetros curriculares: "Privilegiar a aplicação da teoria na prática e enriquecer a vivência da ciência na tecnologia" (PCN EM, 2000)

Dentro das possibilidades metodológicas do uso do laboratório didático, escolheu-se trabalhar com o Laboratório Não Estruturado (LNE), que segundo MOREIRA (1980) é aquele no qual o aluno recebe apenas instruções sumárias e os objetivos da experiência, ficando livre para seguir o procedimento que lhe aprouver, criando um ambiente que favoreça o rompimento com a uma imagem neutra e empirista da ciência, pois o LNE "em sua apresentação global, objetiva, basicamente, desenvolver nos alunos a capacidade de sistematização de fenômenos físicos" (VENTURA E NASCIMENTO, 2002), que dialoga diretamente com a proposta pedagógica desse trabalho, estando ainda de acordo com a teoria da transposição didática escolhida

Ao professor cabe o papel de criar um "cenário" menos agressivo ao dogmatismo apresentado pelos livros textos. Mesmo submetido às pressões dos grupos de sua esfera, o professor deve buscar a criação de um ambiente que favoreça o rompimento com a imagem neutra e empirista da Ciência, veiculada através dos manuais e livros didáticos. Também deve procurar nas práticas sociais de referência os elementos mais adequados aos seus objetivos. (Alves Filho, 2004)

Em meio ao cenário vigente do ensino de Física no ensino médio, em que o desenvolvimento de alguns conteúdos em sala de aula, como a cinemática da rotação, é limitado ou inexistente, poderia ser facilmente considerado improvável ou impossível, por muitos professores, acrescentar a dinâmica rotacional até o conteúdo de momento angular, mesmo isso sendo uma diretriz. Outro fator importante a ser discutido, é que o conteúdo proposto pela presente pesquisa é formalmente trabalhado com os alunos do ensino superior nas graduações na área de ciências exatas. Caso não ministrados esses assuntos no Ensino Médio, pode ocorrer a privação de uma visão mais ampla do mundo aos estudantes que não seguirem a área de ciências exatas. Então chega-se na questão principal que esta pesquisa procura responder: "É possível fazer a transposição didática de conceitos de dinâmica rotacional para o Ensino Médio, com base em uma metodologia ancorada em um referencial

de ensino-aprendizagem baseado na utilização do laboratório não estruturado e mediada pela videoanálise? ”.

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver um material de apoio ao professor, validado em sala de aula e apoiado em um referencial de ensino-aprendizagem, para mediar a transposição de conceitos de dinâmica rotacional ao Ensino Médio.

Para os objetivos específicos, este trabalho pretende:

- Desenvolver uma metodologia de transposição didática dos conceitos de momento de inércia, energia cinética de rotação e momento angular ao ensino médio.
- Desenvolver atividades experimentais não-estruturadas, que abordem o tema em estudo, que privilegiem a autodeterminação investigativa dos estudantes.
- Observar e fomentar a fluência dos alunos no uso de TIC, no caso, tendo a videoanálise como elemento transversal e motivador.
- Investigar a validade da metodologia proposta, ao propor, discutir e registrar as impressões dos estudantes acerca de suas impressões de situações vivenciais cujas leituras científicas dependam dos temas abordados nesta proposta.

O estudo foi desenvolvido junto à alunos do 2º ano do ensino médio, de um colégio da rede particular, na cidade de Curitiba-Paraná, contando com toda a colaboração da instituição tanto em espaço físico quanto em divulgação do trabalho. As atividades desenvolveram-se no contraturno com alunos voluntários.

1.1. Justificativa

A ideia central para iniciar essa pesquisa surgiu de um combinado de diversos fatores. Primeiramente tem-se percebido facilmente, por qualquer docente em atividade, uma evolução tecnológica a qual o sistema de ensino não tem comportado. Informalmente se percebe que um dos grandes desafios das didáticas atuais é conseguir encaixar de maneira didáticas as ferramentas tecnológicas na sala de aula. "Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna" (LDB, 1996)

Em seu livro "alfabetização científica", Attico Chassot (2006) comenta que a globalização, devido à evolução tecnológica, confere novas realidades à educação, e sua primeira constatação é que atualmente a escola seja menos "irradiadora" no sentido de ser menos interessante aos alunos. Sua segunda constatação é sobre a posição passiva que a escola ocupa perante a evolução da tecnologia:

Ela era a referência do conhecimento. Hoje, por ter perdido crédito, a escola se encolhe, julgando-se e sendo julgada incompetente para ser catalisadora de discussões que lhe pertenciam. Esta é a segunda das constatações que nos obriga a repensar nosso fazer Educação(CHASSOT, 2006).

As constatações de Chassot sobre o desinteresse dos alunos pela forma de fazer educação, remetem, as metodologias atuais empregadas pelos docentes em atividade. Se, os professores de ciências naturais, chegarem a um defasamento didático-tecnológico, comparado ao que se é possível fazer atualmente no que diz respeito a uso de simuladores virtuais, de gravações de áudio e vídeo ou outras mídias, a escola, segundo Chassot, se tornará um lugar menos interessante aos alunos . Se faz necessário, aos professores, nivelar o ritmo tecnológico dos alunos, e buscar novas metodologias de ensino

que englobem esses recursos digitais. As constatações de Chassot só afirmam um cenário predominante nas escolas: professores tem dificuldade de utilizar didaticamente a maioria dos recursos tecnológicos disponíveis.

Um segundo fator motivador foi a diversidade de conteúdos que não são abordados no ensino médio e que estão presentes no cotidiano de todos, como os abordados nesse trabalho: energia cinética rotacional, momento de inércia e momento angular. Alguns dos conteúdos que são tratados no ensino médio, poderiam ser trabalhados de maneira alternativa. Por exemplo, cinemática poderia ter uma ênfase muito menor, ou até mesmo não trabalhado ou simplesmente não trabalhado no ensino médio mas sim no fundamental (o presente trabalho não tem a finalidade de abordar como esse processo de mudança curricular deve ocorrer), e ser substituído seu foco pelos conteúdos de trabalho e energia. Em vista disto, uma transformação curricular e conseqüentemente didática pode ocorrer, transformação essa que pode contemplar situações práticas comuns de diversos ambientes cotidianos.

1.2. Relato de experiência

Dentre as circunstâncias pessoais que motivaram o advento desse trabalho, citarei, resumidamente, uma situação marcante. Ocorreu em 2012, após uma aula de cinemática, mais especificamente exercícios sobre movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Uma aluna que praticava ginástica olímpica veio conversar comigo, após a aula, e me explicou que estava entendendo o conteúdo e havia conseguido fazer os exercícios mas uma coisa ela não entendia. E perguntou: "por que quando eu fazia o "mortal esticado" era mais difícil de fazer do que o "mortal grupado"?". Após ela explicar a diferença entre "esticado" e "grupado", achei a pergunta interessante, respondi à pergunta, acredito que ela entendeu, e fiquei me perguntando porque essa parte da mecânica rotacional não era estudada no ensino médio, mesmo tendo tantos esportes praticados pelos próprios alunos que envolvem esses conceitos.

Outro fator importante para a escolha desta proposta, está relacionado ao vínculo da atividade ao laboratório não estruturado (LNE). Como docente em atividade, noto uma dependência crescente dos alunos aos roteiros, fórmulas, ideias prontas para serem seguidas, etc., que vem aumentando anualmente. Acredito que parte dessa situação deve-se aos pesquisadores, pois considero que as pesquisas podem ajudar a desenvolver a sociedade, seja intelectualmente, tecnologicamente ou socialmente. Acredito também, que as instituições de ensino podem, além das obrigações pedagógicas, contribuir para o surgimento de cidadãos éticos, responsáveis e criteriosos, que tenham capacidade de saber escolher e não simplesmente aceitar tudo que lhes é colocado. Sendo assim, a abordagem do LNE vem ao encontro da minha percepção atual da postura discente, podendo com esse trabalho tentar modificar um pouco a forma com que os alunos aprendem ciência. E para tentar implantar esses princípios, é necessário tornar a ciência mais atrativa aos olhos dos estudantes, por isso a mediação da videoanálise. Considera-se que essa ferramenta de mediação tecnológica despertará o interesse e a criatividade dos estudantes, e que sua junção com o ambiente do LNE é pertinente pois, além da física, a videoanálise pode incentivar o lado motivacional do aluno, e o LNE pode propiciar o desenvolver da criatividade e senso crítico.

2. Aspectos teóricos

2.1 Descrição física do movimento de rotação

Define-se rotação quando o objeto (podendo ser um ponto material ou corpo extenso) gira em torno de um eixo (HALLIDAY, 2008). Isso ocorre em várias situações do cotidiano, como por exemplo: um disco de vinil quando colocado para tocar música, as rodas de um carro, os ponteiros de um relógio, etc.. Para examinar melhor as características do movimento de rotação algumas variáveis e grandezas precisam ser definidas.

Considera-se um corpo localizado em um ponto P do plano cartesiano a uma distância r de sua origem. Sua posição angular θ é o ângulo entre a reta que liga o corpo à origem e o semi eixo x positivo (HALLIDAY, 2008), geometricamente tem-se:

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (\text{ângulo em radianos}) \quad (1)$$

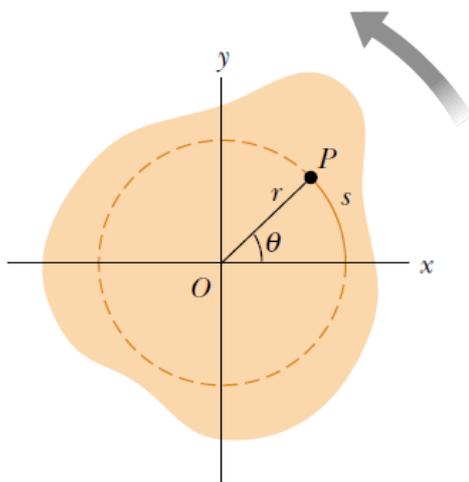


Figura 1 - Uma partícula em P gira em um círculo de raio r centrado em O. FONTE: HALLIDAY, 2008

Se o corpo girar em torno do eixo de rotação, variando de θ_1 para θ_2 dizemos que ocorreu um deslocamento angular $\Delta\theta$ (HALLIDAY, 2008)

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (2)$$

A taxa temporal de variação do ângulo, (para cada partícula no caso de um corpo extenso), é a velocidade angular ω do movimento de rotação (HALLIDAY, 2008)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (3)$$

Por convenção tem-se que a rotação no sentido anti-horário é tal que quando θ aumenta e a ω é positiva; Na rotação em sentido horário, θ diminui e ω é negativa. A unidade de ω são radianos por segundo.

A taxa temporal da variação da velocidade angular é a aceleração angular α (HALLIDAY, 2008)

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta^2\theta}{\Delta t^2} \quad (4)$$

Quando se analisa a causa de uma rotação, verifica-se que é necessário um impulso inicial. Quando se trata de um corpo extenso, como por exemplo um disco, o ponto de aplicação das forças é importante, pois se uma força aplicada tem sua linha de ação passando pelo centro de massa, ela não provocará rotação (TIPLER, 2000). A partir dessa noção pode-se definir o torque τ :

$$\tau_i = F_i l \quad (5)$$

Onde τ_i representa o torque sobre a i -ésima partícula de um disco, F_i a força aplicada sobre a i -ésima partícula e l representa o braço de alavanca da força, que é a distância perpendicular entre a linha de ação da força e o eixo de rotação (TIPLER, 2000).

A partir da equação 1, pode-se relacionar velocidade angular com velocidade linear, simplesmente derivando em relação ao tempo, mantendo r constante:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{s}{r} \\ s &= \theta r \\ \frac{ds}{dt} &= r \frac{d\theta}{dt} \\ \boxed{v = \omega r} \end{aligned} \quad (6)$$

Se derivarmos a equação 6 com relação ao tempo, mantendo constante o valor de r , encontramos uma nova relação:

$$\begin{aligned}
 v &= \omega r \\
 \frac{dv}{dt} &= r \frac{d\omega}{dt} \\
 \boxed{a} &= \alpha r
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Onde a representa a aceleração linear .

Feitas essas considerações, pode-se aprofundar o conteúdo aplicando a segunda lei de Newton para a situação de um disco rotacionando. Seja F_i a resultante das forças externas que atuam sobre a i -ésima partícula, tem-se que:

$$F_i = m_i a_i \tag{8}$$

Relacionando com a equação 7 e multiplicando os dois lados por r :

$$\begin{aligned}
 F_i &= m_i a_i \\
 F_i &= m_i r_i \alpha \\
 r_i F_i &= m_i r_i^2 \alpha
 \end{aligned}$$

O primeiro membro da expressão tem-se o torque τ_i exercido pela F_i , em torno do centro de rotação. Então: (9)

$$\tau_i = m_i r_i^2 \alpha \tag{10}$$

Somando a força sobre todas as partículas:

$$\sum_i \tau_i = \sum_i m_i r_i^2 \alpha \tag{11}$$

A grandeza $\sum_i m_i r_i^2$ depende da forma como a massa do corpo esta distribuída em relação ao eixo de rotação. Logo:

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \tag{12}$$

Chama-se essa quantidade de **momento de inércia** do corpo com relação ao eixo de rotação. O momento de inércia é representado pela letra I ,

depende do corpo e do eixo em torno do qual esta sendo executada a rotação. (HALLIDAY, 2008). Logo:

$$\tau_{res,ext} = \sum_i \tau_{i,ext} = I\alpha \quad (13)$$

A resultante das forças que atuam sobre um sistema é igual à resultante das forças externas que atuam sobre o sistema, pois as forças internas cancelam-se aos pares. A resultante dos torques internos de um sistema também é nula, por raciocínio semelhante (TIPLER, 2000), logo o torque resultante das forças externas que agem no sistema é o torque resultante, chegando então no análogo rotacional da segunda lei de Newton para o movimento linear.

É possível verificar na figura 2 alguns momentos de inércia, de acordo com o formato do corpo rígido em questão. Percebe-se que de modo geral todos tem a dependência de R^2 , realçando a ideia que a distribuição da massa em torno do centro de rotação causará diferentes momentos de inércia. Quanto mais distante a distribuição de massa estiver do eixo de rotação, maior será o momento de inércia do corpo.

A partir da concepção importante de momento de inércia, pode-se chegar na definição das duas grandezas que este trabalho pretende abordar: energia cinética rotacional e momento angular.

Segundo Tipler (2000) a energia cinética de todos os elementos de massa m_i de um corpo que gira é:

$$K_{ROT} = \sum_{i=1} \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad (14)$$

Substituindo na equação 14 a equação 6, e posteriormente substituindo a definição de momento de inércia da equação 12, temos:

$$K_{ROT} = \sum_{i=1} \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum_{i=1} \frac{1}{2} m_i (r_i \omega)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1} (m_i r_i^2) \omega^2 =$$

$$\boxed{K_{ROT} = \frac{1}{2} I \omega^2} \quad (15)$$

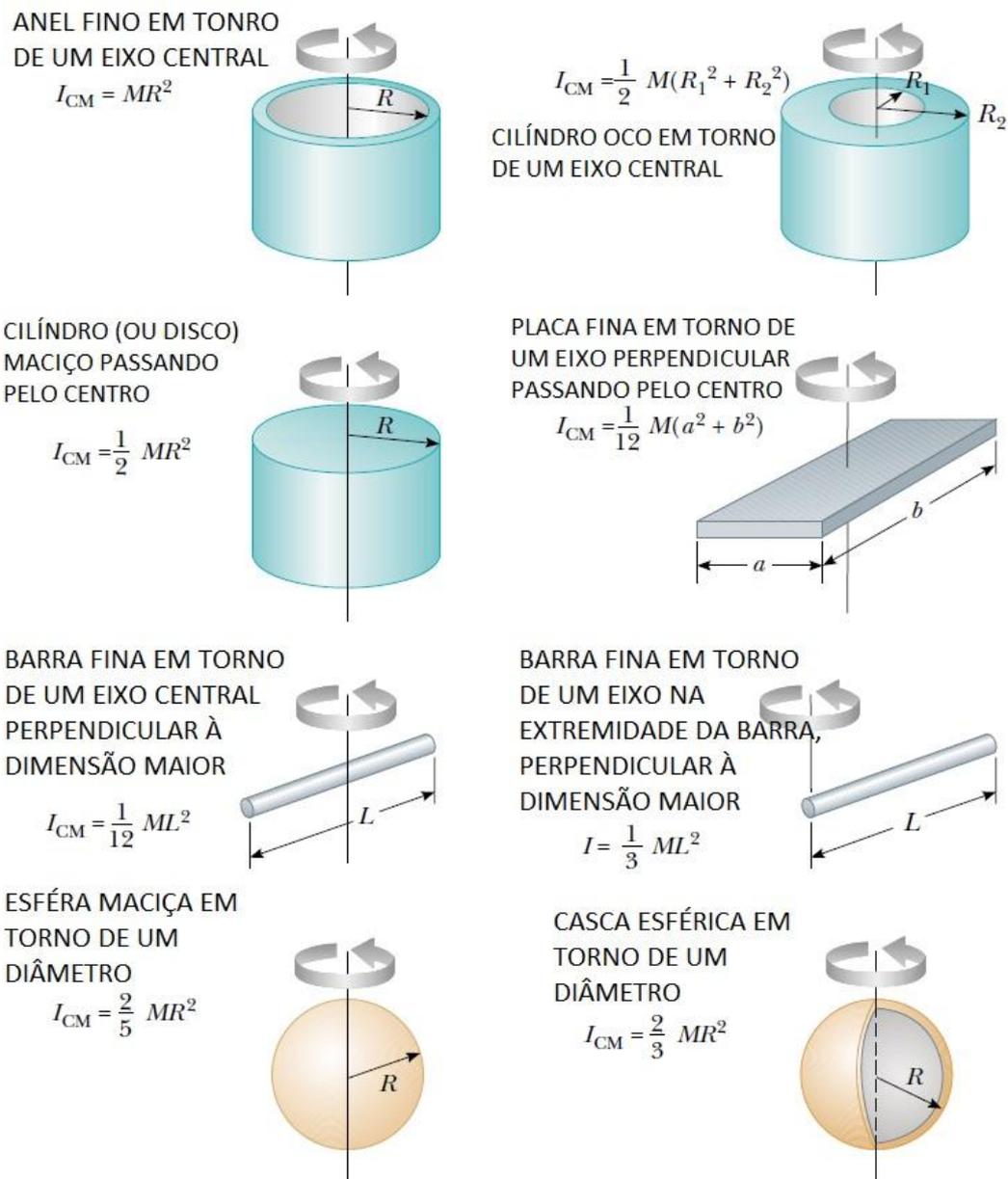


Figura 2 - alguns momentos de inércia. FONTE: HALLIDAY, 2008.

Nota-se, pela equação 15, que a energia cinética rotacional associada ao movimento, depende da distribuição de massa do corpo. Sendo assim, para uma mesma energia cinética de rotação, o corpo que possuir maior momento

de inércia, possuirá a menor velocidade angular, conseqüentemente o corpo com menor momento de inércia possuirá a maior velocidade angular.

Se pensarmos em uma bicicleta se locomovendo com uma determinada velocidade, ao analisarmos um pondo da sua roda, percebemos que ela executa dois movimentos, um de translação acompanhando a bicicleta e outro de rotação em torno do cetro da roda. Então, considerando a energia cinética total (ou de rolamento) de um corpo, conclui-se que:

A energia cinética total do sistema é igual a soma da energia cinética de uma partícula movimentando-se com a velocidade do centro de massa e da energia cinética do movimento das partículas individuais em relação ao centro de massa (THORNTON e MARION, 2011)

Traduzindo matematicamente tem-se:

$$K_{total} = K_{trans} + K_{ROT} \quad (16)$$

Para entender algumas das características do momento angular, é necessário tratar da natureza vetorial da rotação. A propriedade matemática relevante, para nosso estudo, dos vetores é o produto vetorial. O produto entre dois vetores A e B pode ser escrito como :

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} \quad (17)$$

Onde \vec{C} é o vetor resultado da multiplicação entre os dois vetores (vide figura 3). Essa equação afirma que \vec{C} é perpendicular a ambos os vetores e de magnitude igual ao produto das magnitudes de A e B multiplicado pelo seno do ângulo entre eles. Geometricamente $AB\text{sen}\theta$ é a área do paralelogramo definido pelos vetores (THORNTON e MARION, 2011).

Pode-se escrever a definição de torque matematicamente através de um produto vetorial entre o vetor posição \vec{r} e o vetor força \vec{F} de acordo com a seguinte expressão (TIPLER, 2000):

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (18)$$

Pode-se definir o momento angular \vec{L} de uma partícula em relação a origem O como sendo o produto vetorial entre o vetor posição \vec{r} da partícula e o vetor momento linear \vec{p} (TIPLER, 2000)

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (19)$$

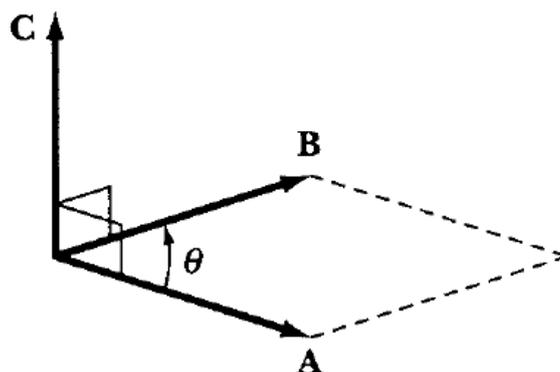


Figura 3 - produto vetorial entre os vetores A e B. FONTE: THORNTON E MARION, 2011

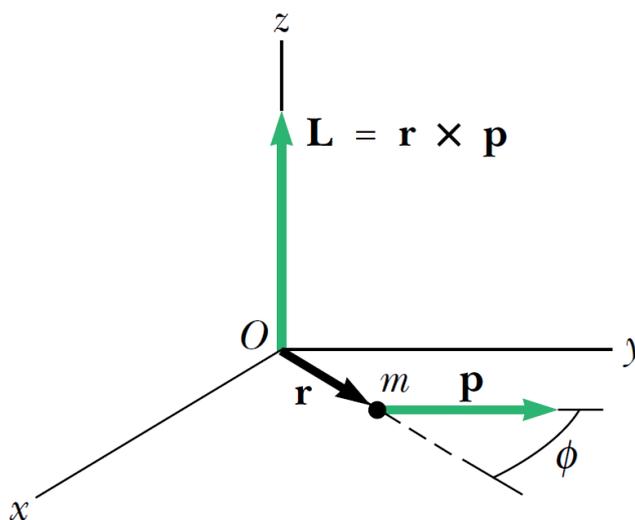


Figura 4 - definição de momento angular de uma partícula. FONTE: HALLIDAY, 2008.

Segundo Tipler (2000), define-se eixo de simetria quando para um corpo ocorre a distribuição simétrica da massa em torno do eixo de rotação, e quando isso ocorre o momento angular total é paralelo ao vetor velocidade angular e pode ser expressa por:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (20)$$

A partir disso pode-se definir a segunda lei de Newton para a rotação: "o torque externo resultante que age sobre um sistema de partículas é igual à taxa de variação com o tempo do momento angular total do sistema" (HALLIDAY, 2008), matematicamente tem-se:

$$\tau_{res} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (21)$$

Assim conclui-se a lei de conservação do momento angular de um sistema: "se os torques externos resultantes sobre um determinado eixo se anulam, a quantidade de momento angular total do sistema sobre aquele eixo permanece constante" (THORNTON e MARION, 2011).

2.2 Laboratório didático

Segundo José de Pinho Alves Filho (2000) o laboratório didático é uma consequência histórica inerente do desenvolvimento da experimentação e da experiência. A experimentação se constitui de procedimentos de uso dos cientistas, enquanto que a experiência é entendida como um atributo natural de todo ser humano nas suas relações com o mundo.

"Pelo seu caráter especulativo, ingênuo e espontâneo a experiência foi considerada uma atividade inadequada para a investigação de fenômenos naturais" (ALVES FILHO, 2000, pag. 205).

O laboratório didático se coloca, inicialmente, como uma transição pedagógica da experiência para a experimentação, pois segundo Alves Filho (2000), ambos, experiência e experimentação, não se mostraram adequados ao ensino. Segundo o mesmo trabalho do autor, quando se refere ao ensino de Física, destaca-se a análise sobre o espaço escolar, que, segundo ele, por ser o ambiente adequado, ofereceu condições favoráveis à propagação e divulgação da concepção do indutivismo ingênuo referente à imagem popular em que no laboratório surgem "grandes descobertas", logo, com maior ou

menor grau de envolvimento, o laboratório sempre foi elemento lembrado no processo de ensino de Física.

"O laboratório didático concebido para uso nos grandes projetos, como já vimos, teve méritos ao oferecer novos instrumentos, equipamentos e montagens experimentais de excelente qualidade. A evolução e inovação, do ponto de vista tecnológico, oxigenou o instrumental, simplificando técnicas de medidas, favorecendo a manipulação instrumental e a aquisição de habilidades manuais. Este arsenal renovou o acervo do laboratório, no que se refere a material e experimentos, respondendo satisfatoriamente aos objetivos a que foram propostos, isto é, melhoria no processo ensino-aprendizagem de Física. O sucesso inicial sugerido pelos projetos de ensino estimulou o uso cada vez maior do laboratório didático, assim como inúmeras investigações envolvendo a eficácia e eficiência de seu uso." (ALVES FILHO, 2000, pag. 212)

Sobre o ensino de Física no nível médio, pode-se analisar diversos aspectos didáticos relevantes e funcionais. Entre eles encontra-se o laboratório de Física, pois possui uma grande quantidade de possibilidades didáticas, e faz parte da estrutura física dos colégios.

O laboratório constitui-se num poderoso recurso instrucional e instrumental para possibilitar ao estudante o aprendizado significativo do assunto [...] Apesar da importância da atividade experimental em nosso ensino, constatamos no 2º grau local, um grande desinteresse e despreparo do professor para este fim. Isso pode estar associado a falta de motivação e de condições de trabalho, o que resulta na acomodação ao ensino estritamente teórico-expositivo, na certa aquele que, durante sua formação, mais o influenciou. (FARIAS, 1992)

A presente pesquisa compartilha das constatações de Antonio José Farias sobre a maneira que o laboratório didático mantido em algumas

situações. Esse importante recurso instrumental, o laboratório, pode ser usado mais ativamente nas escolas, e a presente pesquisa pretende viabilizar sua utilização, pois, como a pesquisa de Farias demonstra, muitos se acomodam em suas aulas teórico-expositivas e mantêm sua inércia didática esquecendo que o fruto do seu trabalho pode estar sendo prejudicado.

2.2.1. Laboratório não estruturado (LNE)

Dentre as características do laboratório didático no ensino de Física pode-se citar a divisão entre: laboratório não estruturado e laboratório estruturado. Em 1980, Marco Antonio Moreira publicou dois artigos na revista brasileira de Física contrastando as características do laboratório estruturado com as do laboratório não estruturado, em estudos comparativos para um curso individualizado e, posteriormente, em um curso convencional. Em seu primeiro trabalho, Moreira coloca, a partir das concepções de Romey, que a diferença entre os dois tipos de laboratórios didáticos de Física, o estruturado e o não estruturado, está na diferença de estratégias usadas para a realização das atividades:

Na atividade estruturada o aluno recebe instruções que o guiam através de um procedimento destinado a produzir certos resultados específicos; por outro lado, uma atividade completamente não estruturada simplesmente propõe um problema ao aluno e o deixa inteiramente livre para usar o procedimento que lhe aprouver, organizar seus próprios dados e chegar as suas próprias generalizações (MOREIRA, 1980)

Ainda sobre essa diferenciação Moreira retoma a definição de ambos:

Por laboratório estruturado entendeu-se aquele em que o aluno recebia instruções detalhadas que o guiavam através de um procedimento destinado a produzir resultados específicos. Por outro lado, o laboratório não estruturado foi definido como aquele no qual o aluno recebia apenas instruções sumárias e

os objetivos da experiência, ficando livre para seguir o procedimento que lhe aprouvesse (MOREIRA, 1980)

Assim sendo, as aulas de laboratório normalmente desenvolvidas em disciplinas de física no ensino médio, são consideradas como atividades estruturadas, pois, quando se faz uma atividade em laboratório, normalmente os alunos recebem um roteiro da atividade, onde encontram algumas informações teóricas sobre o assunto e, na sequência, todos os procedimentos que devem realizar. "As aulas de Física convencionais apresentam-se normalmente dentro de uma estrutura padrão: aulas expositivas e aulas de laboratório disciplinadas com a apresentação de um roteiro contendo uma introdução teórica, a especificação do procedimento experimental e, às vezes, um questionário" (VENTURA E NASCIMENTO, 2002). Quando o professor deseja avaliar o aprendizado, costumeiramente ele coloca uma sequência de perguntas direcionadas sobre a experiência, e aquele aluno que seguir passo a passo a atividade não terá dificuldade de respondê-las.

Situações fortemente estruturadas são normalmente associadas a kits experimentais, equipamentos especificamente construídos para o respectivo experimento. Tais equipamentos ou kits normalmente exigem conhecimentos técnicos sobre sua utilização e funcionamento. Assim, o modelo de ensino experimental baseado única ou majoritariamente nesses kits e roteiros fechados (COSTA, 2004)

O laboratório não estruturado visa à experimentação em si, isto é, o aluno, para concluir a atividade, terá que testar as hipóteses que ele mesmo gerar e testar o funcionamento do aparato experimental que ele estiver trabalhando. No LNE, o processo pelo qual o aluno passa acaba sendo mais significativo que os valores do resultado, pois o estudante terá que fazer suas próprias interpretações do fenômeno. Nesse processo ele pode colocar em conflito suas interpretações com os valores e resultados encontrados, podendo assim, adquirir conhecimento sobre o assunto.

Atividades experimentais não estruturadas são usadas com caráter de investigação constata-se a existência de outros elementos que ampliam a sua diferenciação em relação ao laboratório estruturado. Neste caso, haveria maior “possibilidade de intervenção e/ou modificação por parte dos alunos ao longo das etapas do procedimento experimental” (COSTA, 2004)

2.3. TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

De acordo com a LDB (BRASIL, 1996), a organização do conteúdo, metodologias e avaliações, deve ocorrer de tal maneira que no final do ensino médio o educando demonstre "domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna". Nota-se então uma preocupação com a formação dos estudantes perante a produção, o uso e entendimento da tecnologia. A disponibilidade de novas tecnologias de informação e comunicação (TIC) nos últimos anos, como notebooks, tablets, smartphones, etc., possibilita acesso mais rápido à informação. Esta presença no cotidiano escolar será responsável, segundo os parâmetros nacionais, para o ensino médio, por uma transformação acelerada do papel da escola.

A denominada “revolução informática” promove mudanças radicais na área do conhecimento, que passa a ocupar um lugar central nos processos de desenvolvimento, em geral. É possível afirmar que, nas próximas décadas, a educação vá se transformar mais rapidamente do que em muitas outras, em função de uma nova compreensão teórica sobre o papel da escola, estimulada pela incorporação das novas tecnologias. (PCNEM)

O impacto das TIC na educação, é, na verdade, um aspecto particular de um fenômeno muito mais amplo, relacionado com o papel dessas tecnologias na sociedade atual (COLL e MONEREO, 2010).

A presença de computador, projetor, lousa eletrônica, etc. não garante um bom uso das tecnologias disponíveis para fins pedagógicos (MEDEIROS E MEDEIROS, 2002) se não houver uma mudança conceitual na forma de ensinar. Pode-se então dizer que o uso de TIC como ferramenta pedagógica deve estar vinculado a uma metodologia própria, que estimule o aprendizado através da interação. Para o ensino de Física, dados os conteúdos que exigem muita abstração o uso adequado das TIC pode ser uma ferramenta importantíssima.

O ensino da Física nas escolas e nas universidades não tem parecido ser uma tarefa fácil para muitos professores. Uma das razões para essa situação é que a Física lida com vários conceitos, alguns dos quais caracterizados por uma alta dose de abstração, fazendo com que a Matemática seja uma ferramenta essencial no desenvolvimento da Física. Além disso, a Física lida com materiais que, muitas vezes, estão fora do alcance do ser humano tais como partículas subatômicas, corpos em alta velocidade e processos de grande complexibilidade (MEDEIROS E MEDEIROS, 2002)

Os argumentos de Medeiros e Medeiros são importantes para nortear uma intervenção metodológica referente ao uso de TIC no ensino de Física, pois, quando um elemento tecnológico é usado como um Objeto de Aprendizagem (OA) com o intuito de auxiliar a transposição didática de um determinado conteúdo, deve-se refletir, pré-aplicação da intervenção, sobre o quanto o elemento a ser introduzido estimula a aprendizagem e vincula o conteúdo à proposta de atividade. Pois para Moreira **et.al.** (2012) "Muitos destes OA, na melhor das hipóteses, deixam a cargo do professor a exploração de aspectos fundamentais tais como a discussão sobre o que de fato está sendo representado e o contexto de validade do modelo computacional, deixando implícito o caráter representacional dos modelos". Ainda sobre os cuidados com o uso de objetos de aprendizagem virtuais, acrescenta:

Em consequência do entusiasmo natural oriundo dessas potencialidades podemos observar nos últimos anos uma

imensa proliferação dos chamados Objetos de Aprendizagem (OA), voltados para o ensino de Física, disponíveis gratuitamente na internet. Apesar de serem, potencialmente, excelentes recursos instrucionais, boa parte vem sendo subutilizada, em propostas de atividades que simplesmente os colocam à disposição dos alunos para que os explorem, sem uma orientação relevante que possa guiá-los à aprendizagem do conteúdo envolvido.(MOREIRA *et. al.*, 2012)

2.3.1. Videoanálise com o software *Tracker*

A videoanálise, como o próprio nome sugere, é a análise de dados obtidos a partir de uma gravação de vídeo. Existem alguns softwares que fazem a videoanálise, voltados para a educação, como por exemplo o *Logger Pro*, o *Data Point*, o *Physics ToolKit*, etc..

O *Tracker* é um programa de videoanálise que visa ao estudo de diversos tipos de movimentos, através da marcação de pontos quadro a quadro de um filme. Desenvolvido com códigos abertos e para o ensino de Física, o *Tracker* foi criado a partir do projeto *Open Source Physics*.

"A ideia é oferecer a professores e estudantes ferramentas computacionais que possibilitem a professores modos diferentes de descrever, explicar, prever e entender fenômenos físicos" (BEZERRA JR, 2012).

A escolha do *Tracker* como software de videoanálise, ocorreu devido à alguns fatores, e de maneira geral, contemplando as necessidades requeridas pela presente pesquisa. O primeiro fator é que ele possui suas bibliotecas em linguagem Java, o que o torna executável em qualquer sistema operacional, não limitando assim o seu uso. O segundo fator importante que foi considerado para a escolha é a qualidade da gravação necessária para a videoanálise. Para o *Tracker*, a qualidade dos resultados está diretamente ligada à qualidade da câmera usada para filmar o movimento, quanto melhor sua resolução e quanto mais quadros por segundo forem gravados, melhor será a qualidade dos dados possíveis de serem obtidos. Porém, para uso em laboratório didático, verificou-

se, após diversos testes, que é possível obter bons resultados com câmeras a partir de 3 Megapixels e 15 quadros por segundo.

Outro fator importante para a escolha do *Tracker* foi que para ele ser executável não é necessário um computador de alto desempenho, o que é significativo para escolas sem grandes recursos computacionais. Pensando novamente em recursos, é válido notar que para escolas com pouco recursos financeiros, um programa de código aberto, desde que tenha os devidos recursos desejados, é sempre uma boa escolha.

Inicialmente o *Tracker* foi desenvolvido em inglês, mas hoje já possui uma versão em português, incluindo um manual para utilização. Ambas as contribuições foram dadas pelo grupo de ensino e pesquisa do Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, coordenada pelos professores Jorge Alberto Lenz, Arandi G. Bezerra Jr e Nestor C. Saavedra Jr..

O presente projeto de pesquisa, se insere no contexto de desenvolvimento no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Formação Científica e Tecnológica (PPGFCET), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que já produziu uma série de artigos em periódicos, trabalhos em eventos, cursos de formação, palestras e dissertações. Este projeto de pesquisa visa o desenvolvimento de experimentos virtuais e de experimentos assistidos por computador em laboratórios de ensino de Física, tanto para cursos de Física como nas disciplinas ofertadas para cursos de Engenharia, por exemplo. A concepção, desenvolvimento, aplicabilidade e utilização em sala de aula destes experimentos são objetivos do projeto. O *Tracker* encontra-se presente em diversas atividades desse grupo de pesquisa.

Como ao utilizar o *Tracker* deseja-se realizar a análise Física de um evento, alguns cuidados devem ser tomados com relação a filmagem. Para o local escolhido, três são os fatores principais que devem ser levados em conta: a iluminação, o plano de fundo e a cor do objeto a ser filmado. Os três itens estão relacionados com a nitidez e o contraste desejado entre o objeto e meio. Um ambiente escuro dificulta a nitidez de alguns objetos, então faz-se necessário que o ambiente apresente uma iluminação razoável (uma sala de aula iluminada por lâmpadas fluorescentes é suficiente). Preferencialmente, o

plano de fundo deve ser uma parede de cor uniforme, ou mesmo o quadro de giz, contrastando com o objeto móvel. Esse objeto móvel é o objeto a ser analisado, que pode ser uma bolinha ou um carrinho em miniatura, por exemplo). Uma bolinha amarela como objeto e um quadro verde como plano de fundo é um bom exemplo de contraste, permitindo a realização de filmagens de boa qualidade.

As análises realizadas com o *Tracker* têm como base dimensões espaciais (comprimentos, alturas, etc.) relativas e, para tal, é necessária a colocação de um padrão de tamanho conhecido na cena de filmagem, que pode ser uma régua graduada, por exemplo. Ao executar o programa, a visualização e marcação de um comprimento padrão se fazem necessárias e este corresponderá a certa quantidade de pixels no filme, deste modo, o *Tracker* pode estabelecer distâncias reais (em escala de centímetros, ou de metros, por exemplo) entre pontos.

Durante a filmagem, recomenda-se que a câmera fique imóvel e com campo de visão amplo, lembrando que é possível filmar todo o movimento do objeto em estudo ou apenas as partes que interessem ao experimento em questão.

Ao executar o *Tracker*, o usuário irá se deparar com uma tela semelhante à tela da figura 5

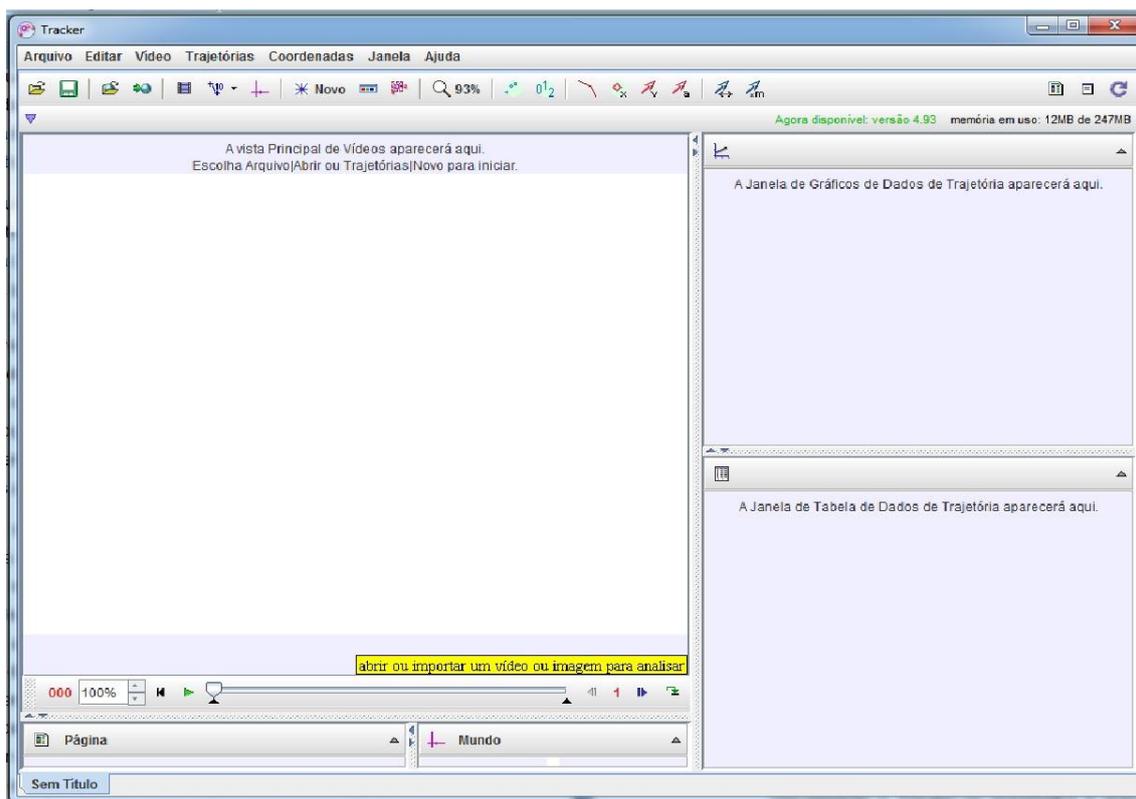


Figura 5 - tela inicial do *Tracker*

Visualmente o *Tracker* se assemelha à grande maioria dos softwares, por exemplo, os softwares do pacote do Office, com uma barra de ferramentas em sua parte mais superior, uma barra de acesso rápido às ferramentas mais utilizadas logo abaixo, uma grande área de trabalho mais central, e opções de visualização (no caso de dados e gráficos) e auxílio do lado direito. Os procedimentos para utilização são muito bem descritos por Jorge Alberto Lenz (Lenz, 2016), em sua página pessoal de trabalho, e podem ser encontrados tanto na versão direto, iniciante e detalhado. Encontram-se, também, em uma página vinculada à UTFPR, chamada "Tracker Brasil" (TRACKER BRASIL, 2016), informações gerais de instalação e utilização do *Tracker*, e alguns trabalhos publicados relacionados a este software.

Na figura 6 pode-se ver uma videoanálise acontecendo. Nota-se que dois objetos tem suas posições marcadas "quadro a quadro", e para cada posição marcada um conjunto de dados é calculado e visualizável no canto inferior direito da tela.

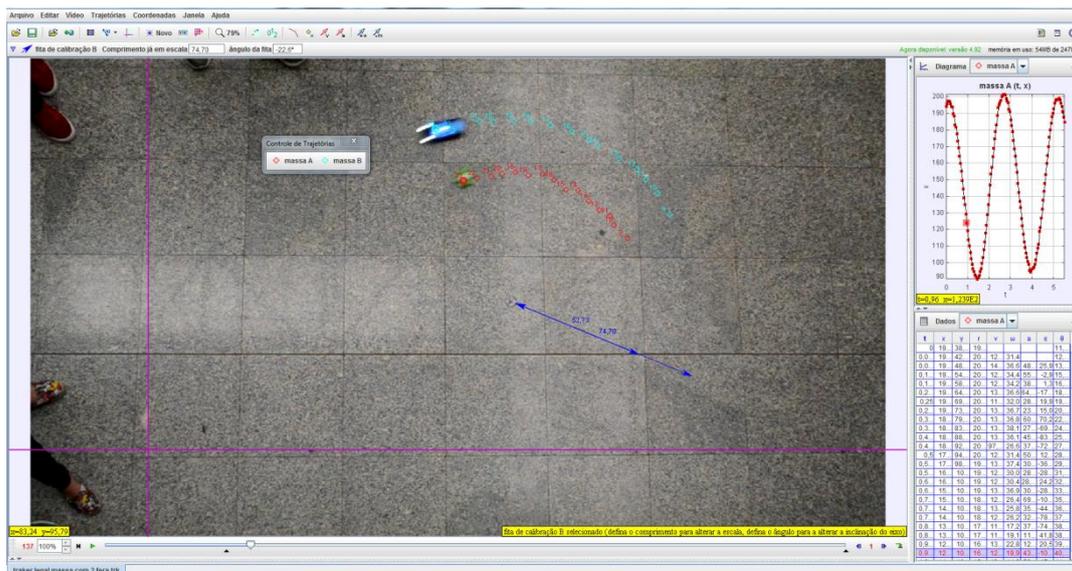


Figura 6 - tela do *Tracker* representativa de uma análise de vídeo

Este software fornece em seus dados, no canto inferior direito, os valores por ele calculados de até 24 grandezas diferentes, sendo destas 20 referentes a grandezas da mecânica e 4 referentes à características da gravação do vídeo inserido. Todos os dados são exportáveis para outros programas.

2.4. PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS (PCN)

A partir das mudanças propostas pela Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de 1996 (BRASIL, 1996), verificou-se um novo horizonte para o ensino no Brasil. Mudanças essas que foram regulamentadas posteriormente pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), esse último ganhando orientações complementares, duas delas que dialogam com este trabalho: os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2000) e as Orientações Complementares dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (BRASIL, 2002).

A necessidade de atualização da educação brasileira, tanto para impulsionar uma democratização social e cultural, tornando-a mais efetiva pela ampliação daqueles que completam a educação básica, como para responder

a desafios impostos por processos globais, foi o precursor dessa reformulação. Uma reformulação das antigas diretrizes se fazia necessário, devido fatores citados e a expansão exponencial do ensino médio, visando se adequar à promoção humana.

"A ideia central expressa na nova Lei, e que orienta essa transformação, estabelece o ensino médio como etapa conclusiva da educação básica de toda a população estudantil" (BRASIL, 2002, pag. 9)

Uma mudança significativa ocorrida em decorrência dessa nova parametrização, é a organização do conhecimento em três grandes áreas: Ciências da Natureza e Matemática, Ciências Humanas, Linguagens e Códigos. As três, organizam e interligam as disciplinas, mas não as diluem nem as eliminam.

"As transformações de caráter econômico, social ou cultural que levaram à modificação dessa escola, no Brasil e no mundo, não tornaram o conhecimento humano menos disciplinar em qualquer das três áreas em que o novo ensino médio foi organizado." (BRASIL, 2002, pag. 9)

Juntamente com a mudança em áreas de conhecimento, vem outra mudança significativa na forma em que cada disciplina irá conduzir suas metas e objetivos. Nesse novo cenário da educação, introduzem-se as Habilidades e Competências, cujo desenvolvimento não se restringe a qualquer tema, por mais amplo que seja, pois implicam um domínio conceitual e prático, que vão além de temas e disciplinas.

"O que é necessário compreender é que, precisamente por transcender cada disciplina, o exercício dessas competências e dessas habilidades está presente em todas elas, ainda que com diferentes ênfases e abrangências"(BRASIL, 2002, pag. 15)

Essa estruturação de competências e habilidades está presente tanto no PCNEM, quanto no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), em que nota-se uma quantidade bem superior de habilidades com relação as competências. Porém essa relação não se apresenta de forma hierarquizada, ambos coexistem e são fundamentais para que essa nova estruturação seja efetivada, apenas considera-se cada habilidade como uma competência específica.

"Pode-se, de forma geral, conceber cada competência como um feixe ou uma articulação coerente de habilidades. Tomando-as nessa perspectiva, observa-se que a relação entre umas e outras não é de hierarquia. Também não se trata de gradação, o que implicaria considerar habilidade como uma competência menor. Trata-se mais exatamente de abrangência, o que significa ver habilidade como uma competência específica. Como metáfora, poder-se-ia comparar competências e habilidades com as mãos e os dedos: as primeiras só fazem sentido quando associadas às últimas."
(BRASIL, 2002)

A disciplina de Física encaixa-se em ciências da natureza, junto com as disciplinas de Química e Biologia, apresentando um conjunto de competências e habilidades específicas. Em meio às mudanças ocorridas, o perfil das aulas de Física também sofrem uma transformação, deixando de concentrar na memorização de fórmulas ou repetições automatizadas de procedimentos, e também deixando de trabalhar com situações artificiais ou extremamente abstratas. "Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante, solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade"(BRASIL, 2002). E esse novo perfil do ensino de Física deve estar compreendido nas competências gerais que ficaram divididas da seguinte maneira:

- **REPRESENTAÇÃO E COMUNICAÇÃO:** símbolos, códigos e nomenclaturas; articulação dos símbolos e códigos; análise e interpretação de textos e outras comunicações; elaboração de comunicações; discussão e argumentação de temas de interesse.

- **INVESTIGAÇÃO E COMPREENSÃO:** estratégias para enfrentamento de situações problema; interações, relações e funções; invariantes e transformações; medidas, quantificações, grandezas e escalas; modelos explicativos e representativos; relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas
- **CONTEXTUALIZAÇÃO SOCIO-CULTURAL:** ciência e tecnologia na história; ciência e tecnologia na cultura contemporânea; ciência e tecnologia na atualidade; ciência e tecnologia, ética e cidadania.

Cada item das competências gerais forma uma competência, e para cada competência foram elaboradas algumas habilidades a serem atingidas.

Dentre todos os objetivos para o ensino de Física, com sua nova forma de preparação dos estudantes, com a utilização do enfoque de competências e habilidades, o conteúdo a ser transmitido ficou dividido em temas estruturadores, totalizando seis:

- Movimentos: variações e conservações
- Calor, ambientes e uso de energia
- Som, imagem e informação
- Equipamentos elétricos e telecomunicação
- Matéria e radiação
- Universo, Terra e vida

Esses temas apresentam uma das possíveis formas para a organização das atividades escolares, explicitando para os jovens os elementos de seu mundo vivencial que se deseja considerar. Não se trata, certamente, da única releitura e organização dos conteúdos da Física em termos dos objetivos desejados, mas serve, sobretudo, para exemplificar, de forma concreta, as possibilidades e os caminhos para o desenvolvimento das competências e habilidades já identificadas (BRASIL, 2002).

2.5. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA SEGUNDO JOSÉ DE PINHO ALVES FILHO

No âmbito escolar, entre os possíveis valores e desenvolvimento humano que uma instituição pode oferecer, o conhecimento ocupa um papel central. Segundo José de Pinho Alves Filho, entende-se esse papel central do ensino como transmissão do saber, e para ele, existe diferença entre o tipo de saber que é produzido e o que é apresentado em sala de aula.

Segundo suas referências, Alves Filho estabelece a existência de três tipos de saber: o **saber sábio** (savoir savant); **saber a ensinar** (savoir à enseigner) e **saber ensinado** (savoir enseigné) (Alves Filho, 2004), sendo o processo de mudança de um tipo de saber para outro chamado de **transposição didática** (TD).

O saber sábio é a forma mais pura e natural da construção do homem sobre fatos da natureza, segundo Alves Filho, enquanto processo é uma propriedade íntima do intelecto do pesquisador, e quando se torna produto é uma publicação com o resultado de suas investigações com uma linguagem e formatação própria da comunidade científica.

"O "saber sábio" é fruto do trabalho produtivo de uma esfera própria, composta basicamente pelos intelectuais e cientistas que constroem aquilo que também é denominado de "conhecimento científico". Esse saber se torna público através de publicações próprias (tais como revistas e periódicos científicos) ou nos congressos específicos de cada área" (ALVES FILHO, 2000, pag. 223)

Para passar para uma nova esfera do saber, é necessário que sobre o saber sábio ocorra uma TD. O produto do saber sábio é o resultado de um processo de degradação e descontextualização. Se esse produto for organizado e hierarquizado em grau de dificuldade, posto de maneira dogmatizada em forma de conteúdo, ele passará a ser chamado de saber a ensinar.

"Estes atributos configuram-se em conteúdos fechados e ordenados, de aspecto cumulativo e linearizado, que resultam

em uma lógica sequencial que se reconstitui em um novo quadro epistemológico, totalmente diferente daquele que gera o saber sábio" (ALVES FILHO, 2004).

Sobre essa TD sofrida pelo saber sábio, Alves comenta:

O cerne da Transposição Didática está em se aceitar a premissa que esta esfera não gera saber científico, mas gera um novo saber! Sua função é transformar o saber sábio, que se apresenta em forma não adequada ao ensino, em material "ensinável" inserido em um discurso didático com regras próprias. Assim como o saber sábio é submetido a regras e linguagem específicas, o saber a ensinar também tem suas regras próprias, além das práticas sociais de referência que se fazem presentes no processo de transposição. (ALVES FILHO, 2000, pag 226)

Quando voltamos ao âmbito escolar, o saber a ensinar sofre uma nova TD quando se torna objeto de trabalho do professor. Tendo como base o livro texto, sobre a influencia e pressão de supervisores escolares, diretores, pais, os próprios alunos, etc., o professor ao preparar a aula pega o saber a ensinar e transforma em saber ensinado. Sobre as colocações de Alves filho referente objetos para a transposição didática do saber a ensinar para o saber ensinado acrescenta-se que não somente livros didáticos e manuais didáticos (livro texto) podem compor a TD quando objeto de uso do professor, a presente pesquisa propõem que algumas atividades podem ser objetos metodológicos para essa transposição didática.

Sobre a estrutura dessa das transformações didáticas, Jose Filho comenta:

A transposição didática, que transforma o saber sábio em saber a ensinar, é decidida pelos componentes de sua esfera, cuja interação entre seus personagens é de ordem mais política, mais ampla. É entendida como uma transposição externa e segue regras que se estabeleceram com o tempo, de

maneira mais rígida. Já a transposição didática que transforma o saber a ensinar em saber ensinado ocorre no próprio ambiente escolar, e pode ser entendida como uma transposição interna. As regras ficam atenuadas devido à proximidade das fontes de pressão, mas estas por sua vez, introduzem outros elementos que servirão de referências para esta transposição. (ALVES FILHO, 2004)

O processo das transposições didáticas no qual o saber vai se modificando, são norteados por cinco etapas ou regras que expõe os grandes objetivos de uma TD é conduzida. Segundo Alves Filho (2004):

- **Regra 1 - modernizar o saber escolar:** "Novas teorias, modelos e interpretações científicas e tecnológicas forçam a inclusão desses novos conhecimentos"
- **Regra 2 - atualizar o saber a ensinar:** "Saberes ou conhecimentos específicos, que de certa forma já se vulgarizaram ou banalizaram, podem ser descartados, abrindo espaço para introdução do novo, justificando a modernização dos currículos"
- **Regra 3 - Articular o saber a ensinar -** "A introdução de objetos de saber "novos" ocorre melhor se articulados com os antigos. O novo se apresenta como que esclarecendo melhor o conteúdo antigo, e o antigo hipotecando validade ao novo"
- **Regra 4 - Transformar um saber em exercícios e problemas:** "O saber sábio, cuja formatação permite uma gama maior de exercícios, é aquele que, certamente, terá preferência frente a conteúdos menos "operacionalizáveis"
- **Regra 5 - Tornar um conceito mais compreensível:** "Conceitos e definições construídos no processo de produção de novos saberes elaborados, muitas vezes, com grau de complexidade significativo, necessitam sofrer uma transformação para que seu aprendizado seja facilitado no contexto escolar"

Pode-se dizer então que uma transposição didática é um processo de transformação do saber que ocorre mediado por algumas diretrizes metodológicas que são as 5 regras da TD. Intervenções essas que vem

orientar e justificar os processos envolvidos nas escolhas metodológicas em cada caso de mudança do saber.

2.6. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA POR YVES CHEVALLARD

A principal referência para transposição didática, do trabalho de Alves Filho (ALVES FILHO, 2000, 2004), é o francês Yves Chevallard. As definições dos diferentes tipos de saber, segundo Alves filho, foi resultado de um resgate do conceito, já existente, feito por Chevallard. Nessa recuperação do conceito, ocorre uma organização e estruturação da concepção de Transposição Didática.

Chevallard publica “La Transposition Didactique”, onde organiza e dá um corpo estrutural ao conceito de Transposição Didática. Esta obra gerou algumas críticas e polêmicas, as quais motivaram seu autor a publicar sua segunda edição, em 1991, adicionada de um “Posfácio”. (ALVES FILHO, 2000, pág. 219)

Em sua obra, "A Transposição Didática: do saber sábio ao saber ensinado", Chevallard comenta que o tema da transposição didática era novo e precisava ser difundido para comunidade científica.

Esse tema - a transposição didática - que era então um novo tópico, tinha um poder de sedução inegável. A sedução não é desprovida de ambiguidades, e sem dúvida, em muitos casos, afetada pelas ambivalências. O destino do conceito epistemológico tem elaborado vários itinerários. Foi objeto de exposições de seminários e, acima de tudo, de um certo número de trabalhos, que sofreram análises didáticas precisas (CHEVALLARD, 1998)

Em um primeiro momento, as discussões de Yves Chevallard (1998) visavam atingir a disciplina de matemática, mas em pouco tempo os conceitos

discutidos por ele ganharam um âmbito maior, fazendo parte da discussão de outras disciplinas. Segundo ele, os questionamentos feitos pela comunidade científica, para a formalização do conceito de transposição didática, foram essenciais não só para fortalecer suas ideias, mas também serviram para a divulgação para todo o sistema educacional.

Para Chevallard, o conceito da transposição didática, seja do saber sábio para o saber ensinar ou do saber ensinar para o saber ensinado, é considerado como a primeira ferramenta utilizável de todo o processo de ensino.

Para a didática, é uma ferramenta que permite pensar, tirar, interrogar o prova, pôr em causa as ideias simples emergem da familiaridade enganosa de seu objeto de estudo. Em uma palavra, que permite exercer o seu controle epistemológica. É um dos instrumentos da ruptura que o ensino deve exercer para se tornar o seu próprio domínio; é aquela para a qual a entrada de conhecimento sobre o problema da didática passa do poder de agir: na medida em que o "saber" se torna problemático para que ele possa aparecer na frente como um termo na formulação de problemas (novo ou simplesmente reformulados) e em sua solução. (CHEVALLARD, 1998)

Mediante a formalização dos conceitos relativos à transposição didática, após vários debates de ideias e modificações discutidas, Chevallard organiza os elementos comuns ligados aos saberes e à transposição didática, com elementos que os influenciam junto à sociedade e seus representantes, chamando esse ambiente mais amplo de *noosfera*. Sobre a *noosfera* Chevallard comenta:

A *noosfera* é o centro operacional do processo de transposição, que resultam em fatos na resposta ao desequilíbrio criado e verificado (expressa por matemáticos, pais, os próprios professores). Ali se produz todo o conflito entre o sistema e o ambiente e ali encontra um lugar privilegiado de expressão. Neste sentido, a *noosfera* desempenha um papel de invólucro. Mesmo em períodos de

crise, mantém tudo dentro de limites aceitáveis a autonomia de funcionamento didático. (CHEVALLARD, 1998)

Dessa maneira, perante as colocações à respeito da transposição didática, considera-se que o trabalho de Yves Chevallard é um marco importante do ensino. Considera-se também, que o trabalho de José de Pinho Alves Filho, sobre a transposição didática, foi um aprimoramento das ideias existentes. O presente trabalho admite, como referencial mais completo para as atividades, as ideias de Pinho Alves, e assim se utiliza, mas sem deixar de evidenciar o brilhante trabalho de Chevallard.

2.7. INTEGRAÇÃO DAS TEORIAS

Primeiramente se faz necessário justificar o reforço dos parâmetros atuais do ensino de Física, que o presente trabalho propõe, ao ensinar alguns conteúdos de mecânica rotacional no ensino médio. Em vista das grandes mudanças propostas pela reestruturação do ensino brasileiro, com a introdução de novas metas, isso acarreta uma nova perspectiva e uma nova perspectiva implica em nova metodologia.

"Incorporam metas educacionais comuns às várias disciplinas da área e das demais e, também por isso, tais modificações de conteúdo implicam modificações em procedimentos e métodos, que já sinalizam na direção de uma nova atitude da escola e do professor." (BRASIL, 2002, pag. 13).

Em segundo lugar, o que pretende-se ensinar deve estar nas propostas estruturais do ensino de Física. Nos 6 temas estruturadores propostos pelo PCN+, o primeiro deles é "Movimentos: variações e conservações". Dentro desse tema, o proposto é, inicialmente, identificar, classificar e descrever corretamente os movimentos reais de objetos. Mas propõem, sobretudo, associar os movimentos as causas que lhes dão origem, às interações que os originam, as suas variações e conservações. Citando diretamente os conteúdos que o presente trabalho aborda: "Para isso, será preciso

desenvolver competências para lidar com as leis de conservação (da **quantidade de movimento** linear e **angular e da energia**)” (BRASIL, 2002, pág. 72). E novamente quando separa os conteúdos em unidades temáticas:

A partir da observação, análise e experimentação de situações concretas como quedas, colisões, jogos, movimento de carros, reconhecer a **conservação da quantidade de movimento linear e angular** e, por meio delas, as condições impostas aos movimentos.[...] Utilizar a **conservação da quantidade de movimento** e a identificação de forças ou **torques** para fazer análises, previsões e avaliações de situações cotidianas que envolvem movimentos.[...] Identificar formas e **transformações de energia associadas aos movimentos reais**, avaliando, quando pertinente, o trabalho envolvido e o calor dissipado, como, por exemplo, em uma freada ou em uma derrapagem (BRASIL, 2002)

Ao pensar na relação do conteúdo e dos objetos metodológicos utilizados (LNE e Videoanálise) com as competências e habilidades, pode-se encontrar características que validam o uso destes objetos e a escolha do conteúdo por auxiliarem a desenvolverem determinadas competências e habilidades. Essas já comparadas com o uso do *Tracker* por Matsunaga (2015):

PCN	TRACKER
Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões, como, por exemplo, a relação entre o deslocamento, tempo, velocidade e aceleração.	Ao preparar o ambiente para a filmagem o estudante deve relacionar as grandezas de comprimento e tempo através de escalas por ele definido para que o aplicativo possa fazer as devidas comparações e registro de dados. Assim o estudante pode entender de forma prática como essas grandezas se relacionam.
Compreender a necessidade e fazer uso de escalas apropriadas para ser capaz de construir gráficos;	Ao demarcar os pontos usando o aplicativo, os estudantes terão acessos ao conjunto de dados, os

compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir.	quais poderão construir gráficos que relacionam as grandezas relativas ao movimento em relação ao tempo.
A experimentação faz parte do desenvolvimento das competências.	Utilizando um dispositivo móvel com o aplicativo a experimentação pode ser realizada em qualquer ambiente de trabalho promovendo a socialização do laboratório de Física e tornando-o flexível diante das experiências relacionadas ao movimento.

Tabela 1 - quadro comparativo, proposto por Matsunaga (2015), do uso do *Tracker* com as competências e habilidades dos PCN

Seguindo o comparativo feito por Matsunaga (2015), pode-se estender a ideia para todas as atividades propostas pela presente pesquisa, identificando as competências e habilidades em cada etapa deste projeto.

PCN	Atividade proposta
Descrever relatos de fenômenos ou acontecimentos que envolvam conhecimentos físicos	No final de cada atividade os estudantes terão que relatar o que foi feito, justificando seus resultados
Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia.	Presente nas 3 atividades a serem realizadas de intervenção com os alunos, devido a mediação do LNE
Identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la.	Diferenciação das características lineares e angulares de um movimento que será proposto na primeira atividade
Identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário. Identificar também formas de dissipação de energia e as limitações quanto aos tipos de transformações possíveis impostas pela existência, na natureza, de processos irreversíveis	Introdução do conceito de energia cinética rotacional. Conversão da energia potencial gravitacional, em energia cinética (translação e rotação)
Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões	A introdução do conceito de energia cinética rotacional ocorrerá como solução de uma argumentação crítica dos alunos depois da análise de um fenômeno
Reconhecer e avaliar o desenvolvimento Tecnológico	Utilização do <i>Tracker</i> , celulares e computadores para a análise de

contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.	fenômenos físicos reais
Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo, como, por exemplo, para ampliar o acesso à eletricidade.	Utilização de software de código aberto, objetos tecnológicos de acesso comum (celulares e computadores de baixo desempenho), e elementos de baixo custo para a realização das atividades (cano de PVC, massa de modelar, palitos de churrasco, etc.)
Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação	Possibilitado pela estrutura do LNE

Tabela 2- quadro comparativo entre as competências e habilidades dos PCN e as atividades propostas pelo presente trabalho. Fonte: autoria própria

Nota-se uma preocupação acentuada, por parte do PNC, com relação à utilização de TIC no ensino, principalmente com relação à utilização didática e eficaz da tecnologia, isso é, utilizar pedagogicamente a ferramenta tecnológica de forma a auxiliar e potencializar o aprendizado. Medeiros e Medeiros (2002) analisam as vantagens da utilização de simulações computacionais no ensino, algumas delas são:

- a) permitirem aos estudantes gerarem e testarem hipóteses,
- b) engajar os estudantes em tarefas com alto nível de interatividades,
- c) apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos,
- d) desenvolver habilidades de resolução de problemas,
- e) fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos,
- f) acentuar a formação de conceitos e promover a mudança conceitual.

Segundo as vantagens propostas, o uso do *Tracker*, mesmo não sendo um simulador, como ferramenta pedagógica dialoga diretamente com o LNE e o conteúdo de mecânica rotacional. Os itens **a**, **b**, **d**, e **f**, são enquadrados nas

características da utilização do LNE. E os itens **c**, **e**, e também o **f**, fazem parte do contexto da aplicação do conteúdo de mecânica rotacional.

Ao aplicar a teoria do LNE em uma atividade, é necessário que ocorra o engajamento dos estudantes com a proposta, pois quanto mais estimulados e dispostos a interagir com os colegas, maior será a qualidade da discussão, dúvidas, e principalmente, a tentativa de resolução da situação problema, gerando e testando mais hipóteses. Por isso a utilização do *Tracker* com o LNE forma uma conexão pedagogicamente valiosa.

Como discutido anteriormente, o conteúdo de energia cinética rotacional e principalmente o conteúdo de momento angular, apresentam em suas formulações uma complexibilidade matemática pouco compatível com a realidade do ensino médio, com a utilização do *Tracker* é possível aprofundar mais o conteúdo (item e) e chegar, a partir de uma atividade real, a conceitos importantes de forma mais simplificada (item c). Então o conteúdo de energia cinética rotacional e momento angular dialogam com a utilização do *Tracker* mediado pelo LNE.

Partindo do conteúdo de mecânica rotacional de forma linear e hierarquizada (o que foi feito no capítulo 2.1, a teoria do movimento de rotação), isto é, possuindo o saber a ensinar, é necessário que ocorra uma transposição didática para que ele passe a ser o saber ensinado. O presente trabalho propõe que a partir da utilização da videoanálise mediado pelo LNE isso seja possível, porém, segundo Jose de Pinho Alves Filho (2000 e 2004), é necessário que essa TD cumpra com as exigências das suas 5 regras.

As cinco regras para a transposição didática com suas respectivas atividades de intervenção para transformar o conteúdo de energia cinética rotacional e momento angular do saber ensinar para saber ensinado podem ser relacionados conforme apresentados na tabela 3.

Regras para a TD	Atividade de intervenção
<p>Regra 1 - modernizar o saber escolar: "Novas teorias, modelos e interpretações científicas e tecnológicas forçam a inclusão desses novos conhecimentos"</p>	<p>Utilização de videoanálise possibilita a introdução de elementos tecnológicos (celulares, tablets, notebooks, etc...) no ambiente escolar. Também pode-se modernizar o saber escolar com a introdução do conteúdo de rotação.</p>
<p>Regra 2 - atualizar o saber a ensinar: "Saberes ou conhecimentos específicos, que de certa forma já se vulgarizaram ou banalizaram, podem ser descartados, abrindo espaço para introdução do novo, justificando a modernização dos currículos"</p>	<p>Os conteúdos de energia cinética rotacional e momento angular, fazem parte do cotidiano dos alunos, e as conservações e dissipações, da energia e do momento, são fundamentais para a mecânica do movimento. Como proposto pelo PCN é necessário que o estudante ao fim do ensino médio tenha noção da Física que o cerca, sabendo interpretar e analisar de forma crítica.</p>
<p>Regra 3 - Articular o saber a ensinar - "A introdução de objetos de saber "novos" ocorre melhor se articulados com os antigos. O novo se apresenta como que esclarecendo melhor o conteúdo antigo, e o antigo hipotecando validade ao novo"</p>	<p>A introdução do conceito de energia cinética rotacional será dada a partir de um objeto descendo uma rampa, situação comum em exercícios do ensino médio, porém com a videoanálise será possível verificar que não ocorre a transferência simples de energia potencial gravitacional em energia cinética (de translação)</p>
<p>Regra 4 - Transformar um saber em exercícios e problemas: "O saber sábio, cuja formatação permite uma gama maior de exercícios, é aquele que, certamente, terá preferência</p>	<p>A transformação ocorrerá quando o estudante tiver que problematizar situações do seu cotidiano e o caso da bailarina, por exemplo, a partir das concepções recém adquiridas.</p>

frente a conteúdos menos "operacionalizáveis"	
Regra 5 - Tornar um conceito mais compreensível: "Conceitos e definições construídos no processo de produção de novos saberes elaborados, muitas vezes, com grau de complexidade significativo, necessitam sofrer uma transformação para que seu aprendizado seja facilitado no contexto escolar"	Essa regra se cumpre com a própria proposta desse trabalho, que é ensinar um conteúdo visto apenas no ensino superior, com um grau de conceitos matemáticos elevados, no ensino médio.

Tabela 3- regras para a TD e suas respectivas atividades de intervenção. Fonte: autoria própria

Nota-se que o presente procura cumprir com a teoria das regras da transposição didática. Assim, o processo de transformação do saber ensinar para saber ensinado do conteúdo planejado pode ocorrer. Espera-se que o enquadramento das atividades metodológicas ocorra em acordo com a teoria, para a validação da pesquisa.

3. Metodologia

A presente pesquisa foi realizada em um colégio da rede particular de ensino, localizado em Curitiba-PR, com alunos do segundo ano do ensino médio. O colégio é localizado próximo ao centro de Curitiba, tendo como público alvo as classes média e alta (o colégio reserva cerca de dez por cento das vagas para alunos bolsistas). A instituição de ensino possui seis turmas de segundo ano, com uma média de trinta e oito alunos por sala. Sua estrutura

Física contempla quatro laboratórios (ciências, física, química e biologia) e no ensino médio são ministradas semanalmente aulas nos laboratórios de Física, química e biologia. A escolha dos alunos foi feita por voluntariado, não sendo distinguido idade, sexo ou notas, isso é os 18 primeiros alunos inscritos fizeram parte do trabalho. Optou-se pelos alunos do segundo ano do ensino médio por dois motivos: o primeiro deles, é que nessa instituição é ministrado o conteúdo do energia no início do segundo ano, e considera-se o esse tema como pré-requisito para o desenvolvimento do projeto, o que não viabiliza a realização com os alunos do primeiro ano. O segundo motivo, é que os alunos do terceiro ano não tem disponibilidade para a realização dessa atividade no contraturno.

O número de estudantes se deve ao fato que as aulas foram ministradas no laboratório, que tem capacidade para até 20 alunos. Nesse laboratório, foram divididos em grupos de até 5 alunos, e cada grupo ocupou uma bancada exclusiva.



Figura 7 - estrutura do laboratório com os alunos voluntários antes do início da aula. Fonte: autoria própria

3.1. Metodologia de pesquisa

Segundo Moreira (2011), a metodologia de pesquisa educacional pode ser dividida em dois grandes grupos: a pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa. A diferença entre elas está na abordagem e nos métodos utilizados. A pesquisa qualitativa está relacionada com perspectivas idealistas, artísticas e fenomenológicas, enquanto a pesquisa quantitativa está vinculada a posturas realistas, científicas e positivistas.

Do ponto de vista quantitativo, existe uma realidade objetiva, independente, a ser descoberta através da pesquisa; verdade é uma questão de correspondência com a realidade. Na ótica da pesquisa qualitativa, não existe realidade independente, ela é socialmente construída, dependente da mente humana; verdade é uma questão de concordância, não de correspondência (MOREIRA, 2011)

Alguns foram os fatores que levaram a escolha deste trabalho ser realizado sobre o enfoque da pesquisa qualitativa. O primeiro deles é que o pesquisador é o professor atuante das atividades práticas, isto é, conhece as características pessoais dos envolvidos na pesquisa e está socialmente inserido e vinculado na realidade em que se desenvolveu o atual trabalho. Pois, segundo Moreira (2015), não seria aconselhável, para consistência da pesquisa, a escolha do outro procedimento metodológico:

O pesquisador qualitativo procura um entendimento interpretativo de uma realidade socialmente construída na qual ele está imerso, enquanto o pesquisador quantitativo busca descobrir uma realidade com existência própria, da qual ele ou ela deve estar o mais desvinculado possível a fim de evitar qualquer viés (MOREIRA, 2011)

O segundo fator para a escolha do enfoque da pesquisa qualitativa foi a questão de pesquisa que procura-se responder: "É possível fazer a transposição didática de conceitos de dinâmica rotacional para o Ensino Médio, com base em uma metodologia ancorada em um referencial de ensino-aprendizagem baseado na utilização do laboratório não estruturado e mediada

pela videoanálise?". Isto é, com a presente pesquisa procura-se validar um método de ensino, o que, segundo Moreira (2011), dialoga com as características da pesquisa focada na pesquisa qualitativa:

"A pesquisa quantitativa, por exemplo, pode estar mais interessada em teorias explanatórias e preditivas do tipo das teorias da Física, enquanto a qualitativa pode ter mais interesse em sistemas de referência mais interpretativos, descritivos [...] a pesquisa qualitativa tende a destacar valores sociais das asserções do conhecimento, enquanto que a quantitativa provavelmente esta mais preocupada com valores instrumentais dos resultados" (MOREIRA, 2011)

Para o método adotado, dentre os diversos tipos possíveis para a pesquisa qualitativa (etnografia, estudo de casos, fenomenografia, hermenêutica, etc.), escolheu-se trabalhar com a pesquisa-ação, pois entende-se que o método a ser validado é o agente principal das questões propostas por este trabalho e segundo Moreira, "o objetivo fundamental da pesquisa-ação consiste em melhorar a prática, em vez de gerar conhecimento" (MOREIRA, 2011), em que a melhora da prática leva em consideração tanto os resultados quanto o processo. E principalmente, o método da pesquisa-ação, tem como meta e conceito central a mudança, isso é melhorar a prática através da mudança.

Da mesma maneira que o método de pesquisa, escolheu-se para a coleta de dados o instrumento que mais se adéqua a realidade da presente pesquisa. Entre as condições citadas anteriormente, ressalta-se que o pesquisador é o professor e mediador das atividades práticas, visando à validação de um método, então, entre as possibilidades de escolha de instrumentos de coletas de dados (questionários, entrevistas, grupos focais, etc.) escolheu-se trabalhar com a observação direta.

O termo utilizado "observação direta" vem da definição de Lakatos (1985) que considera essa uma técnica de pesquisa para coletar dados, que segundo a autora se divide em dois: observação e entrevista.

A observação é uma técnica de coleta de dados para garantir informações e utiliza os sentidos na observação de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também em examinar fatos e fenômenos que se desejam estudar (LAKATOS, 1985)

Segundo as características propostas por Lakatos (1985), das vantagens da utilização da observação a mais significativa para o presente trabalho é poder observar o fato diretamente, sem a subjetividade característica de uma investigação social. Das desvantagens a mais significativa é uma possível alteração de comportamento do grupo que faz parte da pesquisa.

Um fator importante para a escolha da observação direta como instrumento de coleta de dados foi o perfil geral dos estudantes da instituição de ensino onde a pesquisa foi realizada: alunos ativos em sala e questionadores, seja com o professor ou com eles mesmos, o que induz pensar que pode-se retirar muita informação sobre aprendizagem a partir da discussão entre dois alunos.

Outro fator da escolha de observação direta, e talvez o mais importante, foi a própria ênfase metodológica da pesquisa: vídeo análise no “laboratório não estruturado”. Isto é, se o desenvolver da atividade será apenas mediado pelo professor, mas não determinado por ele, a observação direta entre as possibilidades é o que mais satisfaz as necessidades do pesquisador.

Com a metodologia fundamentada nas características qualitativas, utilizando-se dos fundamentos da pesquisa-ação, com os dados colhidos pela observação direta do pesquisador, pretendeu-se validar a transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional para o ensino médio utilizando o laboratório não estruturado mediado pela videoanálise. E esse procedimento obterá êxito se o pesquisador notar, analisar ou verificar, que ouve por parte dos alunos compreensão e entendimento do conteúdo. O quanto foi a aprendizagem do estudante, se houve indícios de aprendizagem significativa, ou se cumpriu com os requisitos da alfabetização científica, etc. não é o foco desta pesquisa.

Como complemento essencial da coleta de dados, será construído um diário de bordo, para anotações durante e principalmente após cada atividade.

As características da metodologia de pesquisa, adotadas na presente pesquisa, podem ser vistos na tabela 4.

Características da Pesquisa	Metodologia adotada	Aplicação
Tipo	Qualitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Em todas as atividades práticas, pois a pesquisa visa a concordância da teoria com a prática, não a correspondência de valores; • No próprio desenvolver da pesquisa, pois procura-se validar um método de ensino
método	Pesquisa-ação	<ul style="list-style-type: none"> • Em todas as atividades praticas, pois entende-se que o método a ser validado é o agente principal das questões propostas por este trabalho
Coleta de dados	Observação direta	<ul style="list-style-type: none"> • Em todos os encontros com os alunos, seja nas atividades praticas ou em questionamentos posteriores, pois o professor pesquisador esta inserido no cotidiano dos alunos e pela própria ênfase metodológica da pesquisa: vídeo análise no “laboratório não estruturado”

Tabela 4- características metodológicas adotadas. Fonte: autoria própria.

3.2. Procedimentos

As três atividades propostas de mecânica rotacional tem com o objetivo principal possibilitar o entendimento e compreensão das duas perguntas motivadoras desse trabalho: "através de uma metodologia de ensino, que faz

uso do laboratório não estruturado mediado por videoanálise, é possível transpor para o ensino médio conceitos de dinâmica rotacional?" e "por que quando eu fazia o mortal esticado era mais difícil de fazer do que o mortal grupado?" Para isso será projetado uma sequência didática que através do laboratório não estruturado (LNE) mediado pela videoanálise visou-se quebrar as barreiras didático-pedagógicas existentes para a realização da transposição didática do conteúdo proposto. A sequência de conteúdos com suas respectivas aulas serão:

1. Recapitulação das grandezas do movimento circular
2. Momento de inércia
3. Conservação do momento angular

Foram 3 encontros de até 3h, separados semanalmente, as quintas feiras, no período da tarde (contraturno para os alunos). As datas previstas para os encontros foram 10/09, 17/09 e 24/09, de 2015. Escolheu-se o contraturno pois essas aulas não estavam previstas no planejamento anual da instituição de ensino, conseqüentemente o voluntariado se fez necessário.

Os planos de aula dos 3 encontros encontram-se nos anexos, e os aspectos metodológicos principais podem ser vistos na tabela 5

Encontros	Conteúdo	Aspectos metodológicos principais
Aula 1	Recapitulação das grandezas do movimento circular	Revisão, perante a metodologia proposta, de conteúdos do movimento circular como: velocidade linear, velocidade angular, aceleração centrípeta, período, frequência, deslocamento, deslocamento angular. Para isso os alunos utilizaram-se da videoanálise de objetos que rotacionam e do carrinho de controle remoto oferecido pelo professor. O objetivo principal era a diferenciação das grandezas envolvidas, para que essa retomada experimental reduzisse possíveis

		erros conceituais sobre o conteúdo para que pudesse ocorrer o aprofundamento do mesmo.
Aula 2	Momento de inércia	Teve como objetivos principais verificar como a distribuição de massa de um corpo influencia na sua rotação e analisar a conservação de energia mecânica quando além de translação existe o movimento de rotação. Para isso foi construído uma rampa em que desciam dois corpos com mesma massa e mesmo tamanho, mas com distribuição de massa diferentes, a partir de observações experimentais foi confrontado o conhecimento prévio dos alunos com o objetivo da introdução dos conteúdos propostos.
Aula 3	Conservação do momento angular	Teve como objetivo revisar o conceito aprendido de momento de inércia e acrescentando as leis de Newton para a rotação afim de interpretar corretamente situações problemas de rotação como o caso da bailarina entre outras situações cotidianas. Para isso foi recapitulado o conteúdo das outras aulas e discutido a relação do conteúdo com os análogos das leis de Newton para a rotação. Como atividade experimental foi feito um análogo do caso da bailarina utilizando-se de um aluno, uma cadeira giratória e duas garrafas de água.

Tabela 5 - aspectos metodológicos principais empregados nas três intervenções realizadas com os alunos. Fonte: autoria própria

Os alunos que se voluntariaram para as atividades possuíam perfil diversificado, possuindo estudantes que possuem facilidade de estudar Física,

com alunos que possuem dificuldade em seu aprendizado. Entre os participantes estavam, em sua maioria, com notas acima da média proposta pelo Colégio (7,0), e alguns alunos com notas abaixo da média, incluindo um aluno que ao final do ano foi retido no segundo ano do ensino médio.

No ano anterior ao de execução das atividades, todos os alunos que foram voluntários estavam presentes no primeiro ano do ensino médio, e tiveram contato com o software *Tracker*. Foram realizadas três encontros, sendo o primeiro a apresentação do programa e os outros dois atividades desenvolvidas pelos alunos, e os resultados das atividades podem ser vistas na pesquisa de Matsunaga (2015).

3.2.1 Recapitulação das grandezas do movimento circular

Nesta aula foi revisado algumas grandezas do movimento circular, como: velocidade linear, velocidade angular, aceleração centrípeta, período, frequência, deslocamento, deslocamento angular, e qualquer outras grandezas que os alunos acharam necessário (pelo princípio do LNE), inicialmente através de uma aula expositiva (aproximadamente 30 minutos), e posteriormente com a produção da vídeo análise de cada equipe.

A recapitulação se fez necessária por alguns motivos, o primeiro deles é que os estudantes voluntários para as práticas estão no 2º ano do ensino médio, e no momento estão estudando termodinâmica. O conteúdo base do movimento circular foi visto na metade do primeiro ano.

Metodologicamente falando, a recapitulação se fez pois a última atividade requer que o estudante tenha bem estruturada a diferenciação entre velocidade linear e velocidade angular, além de bem formalizado o conceito e aplicações de cada uma.

Inicialmente foi comunicado aos alunos que eles estavam sendo voluntários em uma aula exploratória com finalidades de pesquisa acadêmica, os objetivos gerais dessa pesquisa acadêmica e as informações pertinentes à

eles como, por exemplo, total confiança de participantes nos resultados e análises.

Posteriormente foi anunciado para os alunos o conteúdo à ser trabalhado, então foi revisado detalhadamente o conteúdo de MCU, apenas limitadas as grandezas Físicas à serem abordadas (com ressalva que após os objetivos iniciais serem atingidos não será limitada a criatividade dos alunos se o tempo permitir). Então foi introduzido uma ideia inicial de como podem proceder com a experiência, sempre deixando livres para produzirem como acharem melhor.

A experiência base foi fornecida pelo pesquisador que levou um carrinho de controle remoto, uma ventana (para ser fixada no chão) e barbante, para prender o carrinho na ventosa. O procedimento era simples: deve-se simplesmente apertar no controle remoto para o carrinho andar para a frente, pois, por estar preso, descreverá um movimento circular em torno da ventana. Como a atividade é mediana pelo LNE, ficou a critério dos alunos o tamanho do fio de barbante à ser utilizado, bem como também estão livres para escolher no *Tracker* quais grandezas Físicas vão querer analisar.



**Figura 8 - conjunto contendo o carrinho do Batman, seu controle remoto, o barbante e a ventosa.
Fonte: autoria própria**



Figura 9 - ventana presa ao barbante. Fonte: autoria própria

Como dito anteriormente a prática experimental do carrinho de controle remoto girando entorno da ventosa será uma base para os estudantes, isto é, apenas um ponto de referência para a atividade que deve ser realizada, a mediação do LNE permite que as equipes não se utilizem desta prática experimental e escolham qualquer coisa em qualquer parte do colégio que rotacione para fazer a análise.

Após as gravações, todos foram para o laboratório de informática do colégio para confecção das videoanálises. Como parte da recapitulação, foram mostrados as ferramentas do software necessárias para seu uso. Os alunos são familiarizados com a plataforma (não dominam muito bem), pois já realizaram duas atividades (3 aulas) no ano anterior, de videoanálise.

A análise Física das gravações consistiu basicamente em escolher algumas grandezas do MCU e verificar nos dados gerados pelo *Tracker* se elas ficam constantes ou não, e porque que ficam constantes ou não, sempre argumentando sobre o sistema.

3.2.2 Momento de Inércia

Esta aula teve como objetivos principais verificar como a distribuição de massa de um corpo influencia na sua rotação e analisar a conservação de energia mecânica quando, além de translação, existe o movimento de rotação.

Para isso foi feita uma rampa por onde 2 anéis de um mesmo cano de PVC iram descer. Para os dois canos foi acrescentado uma mesma massa de palitos de churrasco e massinha de modelar. O que diferenciou os dois é que um deles teve a massa de modelar concentrada em sua lateral, e a outra em seu centro. Dessa forma, foram produzidos 2 corpos com a mesma massa e mesmo raio.



Figura 10 - materiais utilizados: pistola para cola quente e palitos de churrasco. Fonte: autoria própria



Figura 11 - materiais utilizados: massinha de modelar. Fonte: autoria própria



Figura 12 - materiais utilizados: cano de PVC cortado. Fonte: autoria própria

Esses materiais foram escolhidos para essa prática experimental porque são de fácil acesso e bem lúdicos, pois fazem parte do cotidiano de qualquer estudante, se por acaso a escolha tivesse sido feita por dois cilindros metálicos perfeitamente torneados, os valores provavelmente encontrados serão bem mais precisos, mas esta pesquisa tem como perspectiva poder ser realizada em qualquer lugar com quaisquer condições de ensino.

A confecção dos dois anéis de PVC, um com a massa centrada e o outro com a massa distribuída mais externamente, foi realizada pelos alunos, bem como a escolha do valor da massa que ambos teriam.



Figura 13 - processo de produção. Fonte: autoria própria



Figura 14 - os dois anéis de PVC, com a massa de modelar na extremidade (esquerda) e com a massa de modelar centrada (direita). Fonte: autoria própria



Figura 15 - medida da massa do anel com a massinha de modelar centrada. Fonte: autoria própria



Figura 16- medida da massa do anel com a massinha de modelar externamente. Fonte: autoria própria

O procedimento inicial foi colher informações a partir da suposição: se soltar os dois corpos de um mesmo ponto da rampa, qual dos dois chegará primeiro no fim da rampa? Considerando apenas os conhecimentos vistos em sala, a resposta esperada era: vão chegar juntos! Essa resposta é baseada nos conceitos prévios de sala de aula que os alunos possuem, pois eles trabalharam com o conteúdo de plano inclinado e conservação de energia.

Então foi feita uma vez a descida simultânea do dois, e verificado que o com a massa no centro chega antes ao fim da rampa. Assim começou uma nova discussão: porque isso acontece?

Após a discussão foram gravados dois vídeos que todos os alunos fizeram a análise com o uso do *Tracker*, um vídeo com a massa de modelar no centro e o outro na borda.

A grande contribuição desta metodologia empregada para o ensino de Física, é a possibilidade de verificar que energia potencial gravitacional foi convertida em energia cinética de rotação. Até o presente momento, os exercícios de Física do ensino médio, bem como as práticas experimentais, de modo geral, não apresentam nenhuma análise de rotação junto com translação de um corpo. Porque não se conseguia adquirir, na prática, as informações necessárias para dizer que parte da energia foi convertida em energia mecânica de rotação. Porém com o auxílio da videoanálise pode-se calcular, por exemplo nesse caso, a energia potencial gravitacional no topo da rampa (através da massa e da altura) e a energia cinética de translação do corpo ao atingir o ponto mais baixo, pois pode-se fazer a análise da velocidade do corpo no ponto mais baixo.

A partir da diferença de energia mecânica inicial e final do corpo, pode-se concluir que parte da energia foi convertida para outra forma de energia (que até agora não havia sido vista), pois o sistema é praticamente conservativo. Assim que houve essa conclusão tomada pelos alunos foi iniciado uma apresentação do conteúdo de momento de inércia, e a devida explicação do porque que ocorre a diferença na descida dos dois anéis de PVC.

3.2.3 Conservação do momento angular

A última atividade realizada era a mais significativa em termos de análise direta do aprendizado, pois, para a interpretação correta do fenômeno, foram necessários os conceitos vistos nos últimos dois encontros. A prática de conservação do momento angular é relativamente simples, terá como objetivo

aplicar os conceitos aprendidos para responder o famoso “caso da bailarina”, e conseqüentemente responder a pergunta chave deste trabalho (“por que quando eu fazia o mortal esticado era mais difícil de fazer do que o mortal grupado?”). inicialmente, foi explicado qual é o “caso da bailarina”, isto é, a diferenciação da velocidade angular que ocorre quando a bailarina esta com os braços juntos ao corpo e os braços esticados. A partir das noções de distribuição de massa do momento de inércia esperou-se que os estudantes se aproximassem da primeira lei de Newton para a rotação: ***O momento angular de um objeto permanece constante a menos que um torque externo resultante seja exercido sobre ele.***

Durante esse momento os alunos estarão livres para reproduzir da maneira que suas reflexões e discussões sobre o experimento os guiassem (de acordo com a perspectiva do LNE) a fim de verificar na prática a conservação do momento angular. Os alunos foram informados que caso a diferença de estar com os braços abertos e fechados não seja visível, devem fazer um Trackeamento (análise com o *Tracker*) do movimento rotacional.

Com o término dessa prática experimental esperou-se captar elementos que certifiquem que houve indícios de entendimento do conteúdo por parte dos alunos, atestando que ocorreu corretamente a transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional.

4. Resultados

O presente capítulo apresentará o resultado obtidos das práticas experimentais. Em um primeiro momento mostrando os valores, gráficos e tabelas obtidas pelos alunos, e em um segundo momento relacionando esses resultados com as anotações no diário de bordo e com a teoria da transposição didática. Espera-se que nessa interligação de resultados possa-se colher indícios de aprendizagem, validando assim o método de transposição didática do conteúdo.

4.1. Resultados da recapitulação das grandezas do movimento circular

A atividade contou com 18 alunos, distribuídos entre as salas de 2º ano do ensino médio do próprio colégio, com níveis de rendimentos escolares diferenciados: aluno recém chegado de outra escola, um aluno recém chegado de intercambio, alunos entre as melhores notas da sua série e alunos com risco de retenção. Eles foram distribuídos em 4 grupos (equipes 1 e 2 com 5 alunos e equipes 3 e 4 com 4 alunos), por critério de afinidades entre eles mesmos, isto é, não houve interferência do professor na escolha dos grupos.

As 14h do dia combinado (10/09/2015) iniciou-se a aula com as explicações prevista do projeto isto é, o que era o trabalho e como transcorreria os encontros, e na sequência se deu a aula expositiva de recapitulação das grandezas do movimento circular. Foram feitas as definições e as relações das seguintes grandezas: período, frequência, velocidade linear, velocidade angular e aceleração centrípeta.

A observação do pesquisador registrada em diário de bordo sobre essa primeira etapa do trabalho é que os alunos apresentaram muita familiaridade com o conteúdo, e de modo conseguiram responder as perguntas realizadas sobre o tema. A consequência disso foi que a revisão de seu em 9 minutos (muito menos do que o pesquisador previa).

A segunda etapa inicio-se com a explanação do que era pra ser feito, isto é, a gravação de um movimento rotacional. Foi mostrado a possibilidade do carrinho de controle remoto (ver figura 8), mas que eles estavam livres para a escolha de qualquer coisa que fizesse uma rotação. Assim sendo as 14h25min as equipes saíram do laboratório para fazer suas gravações. Os principais registros do pesquisador foram que os alunos demonstraram muita criatividade na escolha dos objetos a serem gravados, superando muito as expectativas do pesquisador, e que não demonstraram cuidado com os procedimentos experimentais em alguns casos na gravação dos vídeos.

Às 15h10min todas as equipes retornaram ao laboratório de Física e foram encaminhadas para o laboratório de informática (3ª etapa) para fazer a análise do vídeo produzido. Foi feita uma recapitulação rápida (menos de cinco

minutos) de como utilizar o *Tracker* ficando livre para cada equipe decidir o número de voltas à serem analisadas, quais dados exportar para o Excel e também quais gráficos produzir. A única informação passada pelo professor foi: "é hora de confrontarem a teoria com a prática, analisem os dados e gráficos, e descrevam se o comportamento dos dados coincide com a teoria, e caso não "batam" o porque disso"

Às 16h10min a última equipe terminou, encerrando a primeira atividade. Das observações realizadas pelo pesquisador destacou-se a familiaridade dos alunos com a videoanálise, mesmo não tendo realizado na disciplina de Física nenhuma videoanálise nos últimos dez meses, eles demonstraram experiência em noções básicas de interação, não havendo nenhum aluno que sentiu dificuldade na execução das ferramentas do software.

A utilização do Microsoft Excel também foi recapitulada pelo professor, os alunos presentes na atividade já estavam familiarizados na utilização desse software como editor de planilhas, mas diferentemente do *Tracker*, ocorreram algumas poucas dúvidas durante sua execução. Essas dúvidas ficaram centralizadas na inserção dos gráficos, principalmente quanto a escolha de qual gráfico utilizar. Nesse momento o professor respondeu as perguntas operacionais, e discursou coletivamente dizendo que as escolhas do tipo de gráfico ficavam por conta dos alunos.

Os materiais produzidos por cada equipe foram: o vídeo do movimento circular, o arquivo com o vídeo analisado, um arquivo dos dados retirados (Excel) e uma folha com suas observações sobre a relação dos dados teóricos e práticos.

4.1.1. Resultados da equipe 1

A equipe 1 fez duas análises de movimento circular: o carrinho de controle remoto e uma pessoa rotacionando em uma cadeira de escritório. Da primeira análise foi apenas produzido o vídeo, o arquivo do *Tracker* e o arquivo de dados, não foi registrado nada na folha de observação.

A atividade consistiu-se em colocar uma pessoa na cadeira giratória com os braços abertos, 3 colegas rotacionavam e o ultimo elemento do grupo gravava.



Figura 17 - equipe 01 na atividade 01. Fonte própria. Fonte: autoria própria

Nota-se criatividade por parte da equipe um, porém nota-se também falta cuidados nos procedimentos experimentais na filmagem, o que vai ser evidenciado nos valores encontrados por ela (ver figura 18). A análise realizada pela equipe 1 ficou concentrada na velocidade linear, e ficou evidente, pelos valores, que a grandeza desejada não permaneceu constante:

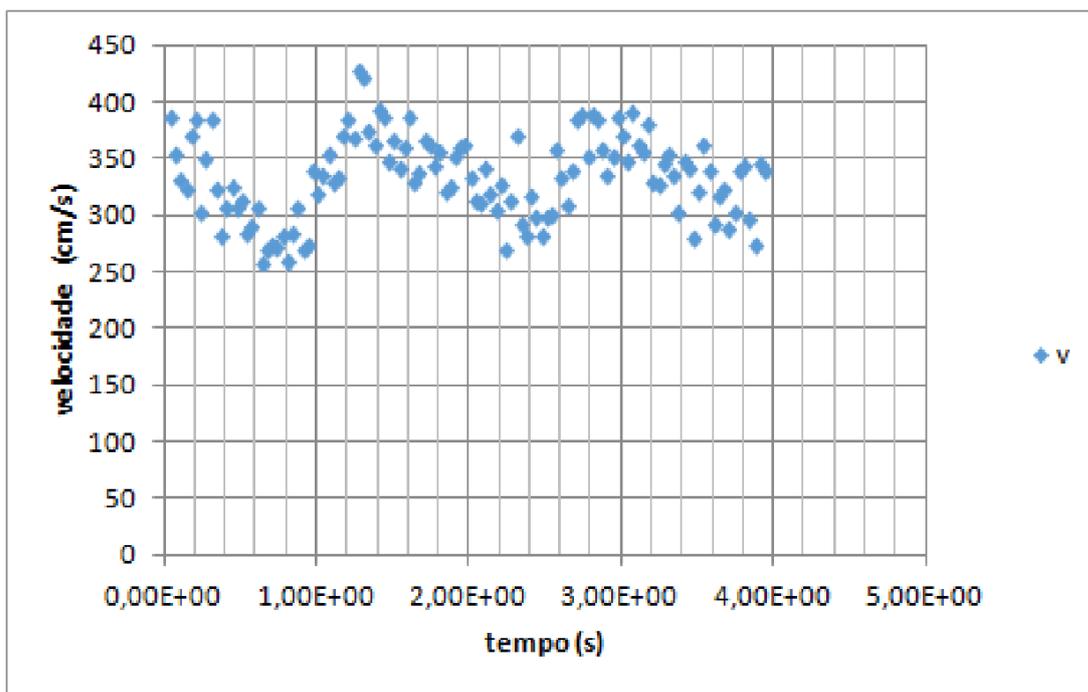


Figura 18 - imagem do gráfico produzido pela equipe 01, velocidade em função do tempo. Fonte: autoria própria

A interpretação do resultado pela equipe foi escrita em tópicos com as seguintes características: "as pessoas empurravam com intervalos de tempos irregulares e com forças de diferentes intensidades", constatando que "teve variação da aceleração" concluindo que "o movimento do aluno em cima da cadeira não foi uniforme". Sobre os problemas encontrados os estudantes argumentaram que "a filmagem não foi feita com um tripé, fazendo com que a mão do aluno tremesse". Também houve uma conclusão dizendo que "o círculo não foi perfeito"

Além do gráfico anterior, a equipe 1 construiu uma nova coluna na tabela de dados, não exportada do *Tracker*. Eles pegaram cada valor do módulo da velocidade e multiplicaram por ela mesma, criando uma coluna chamada $V \cdot V$, gerando então um segundo gráfico e coloram no mesmo gráfico o raio, chamando o gráfico de aceleração.

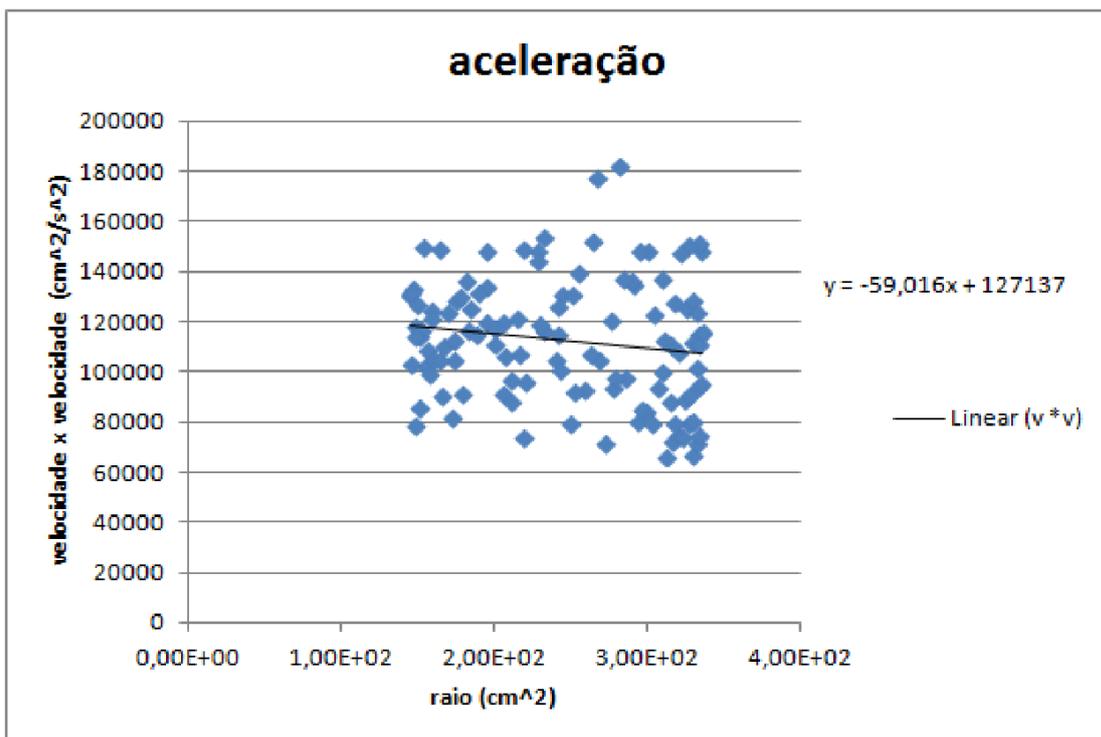


Figura 19 - imagem do segundo gráfico produzido pela equipe 1, no eixo vertical encontram-se valores de V^2 e no eixo horizontal os valores do Raio do movimento. Fonte: autoria própria

A sequência de pontos em azul representa, segundo os alunos, a aceleração, e a linha chamada de "linear" é a linearização dos pontos em azul. Pelos valores analisados e o título dado ao gráfico, conclui-se que eles estavam buscando chegar na relação da aceleração centrípeta (v^2/R), onde v representa a velocidade do corpo e R o raio da trajetória. Não houve comentário da equipe um na folha de observações sobre esse gráfico.

A segunda análise da equipe 1 foi a atividade proposta pelo professor, com o mesmo ângulo de filmagem fizeram a gravação do carrinho de controle remoto.



Figura 20 - imagem do movimento do carrinho sendo analisado pela equipe 1. Fonte: autoria própria

Diferentemente da análise do vídeo da cadeira, a equipe 1 fez apenas um gráfico e um único comentário a respeito videoanálise do carrinho. O comentário foi: "no vídeo do carrinho o carro desacelera no final". O gráfico produzido por eles pode ser visto na figura 21.

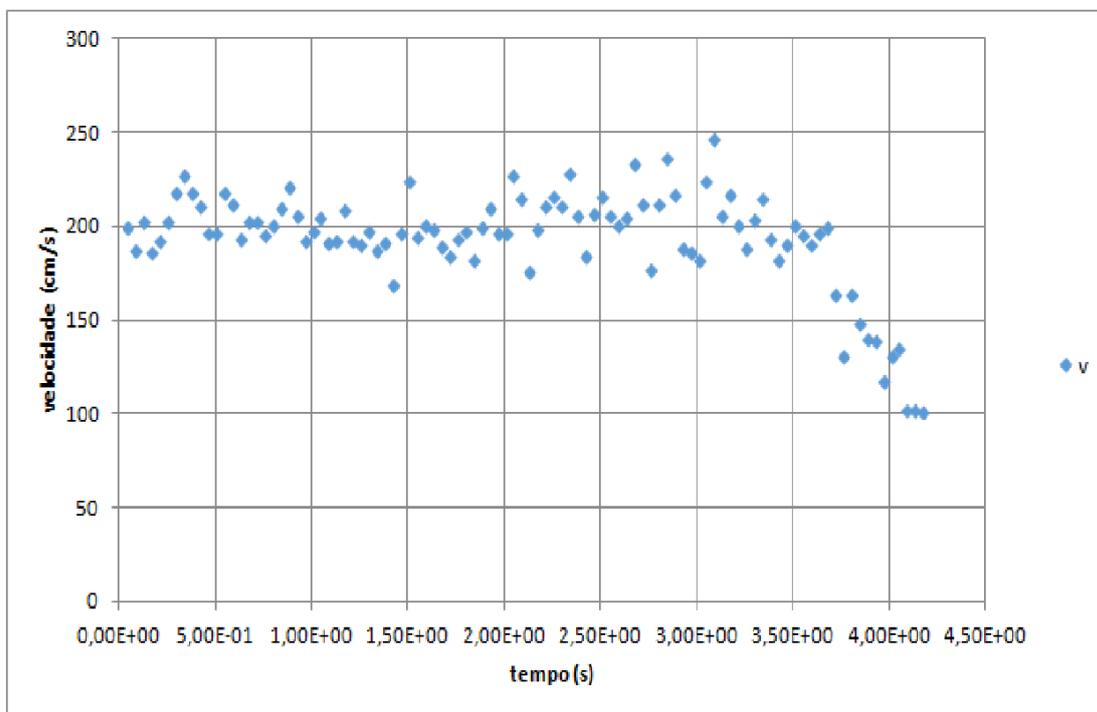


Figura 21 - imagem do gráfico produzido pela equipe 1 referente a análise do movimento do carrinho de controle remoto. Fonte: autoria própria

Percebe-se que a equipe focou novamente a tendência do movimento do que a forma de apresentar o conteúdo. Comparando a descrição dos alunos sobre o fenômeno e o vídeo feito por eles, percebe-se que pouco depois do ponto onde a videoanálise acabou o carrinho para, evidenciando assim que a correlação da equipe entre valores e fenômeno físico estão corretos.

4.1.2. Resultados da equipe 2

A equipe 2 fez análise do carrinho de controle remoto, porém de uma maneira diferenciada da equipe 1, eles pegaram o fio que liga o carrinho na ventosa e amarraram um objeto nele, gerando assim dois objetos rotacionando em torno do mesmo eixo.

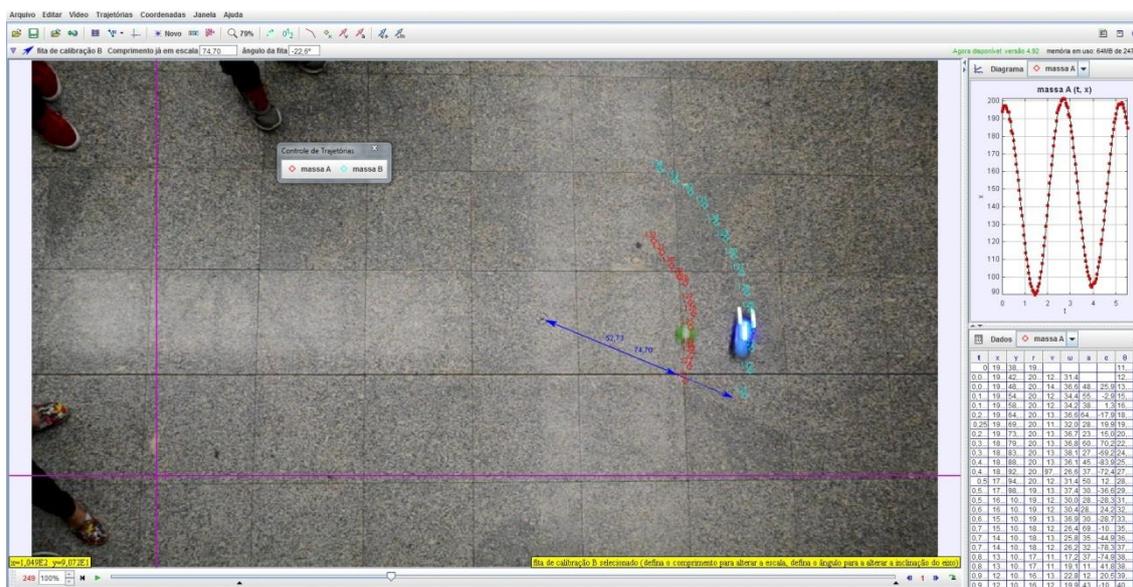


Figura 22 - imagem do movimento do carrinho sendo analisado pela equipe 2, os pontos em azul fazem referência ao carrinho e os pontos em vermelho ao objeto colocado no fio pelos alunos.
Fonte: autoria própria

Eles chamaram o corpo mais interno a circunferência, era um apontador verde, de "massa A", que tem suas posições marcadas na cor vermelha, e chamaram o carrinho de controle remoto que esta mais externo a circunferência de "massa B" que tem suas posições marcadas na cor azul.

Foi construído duas planilhas de Excel, uma com os dados da massa A e a outra com dados da massa B. E em cada planilha foi gerado um gráfico do modulo da velocidade em função do tempo:

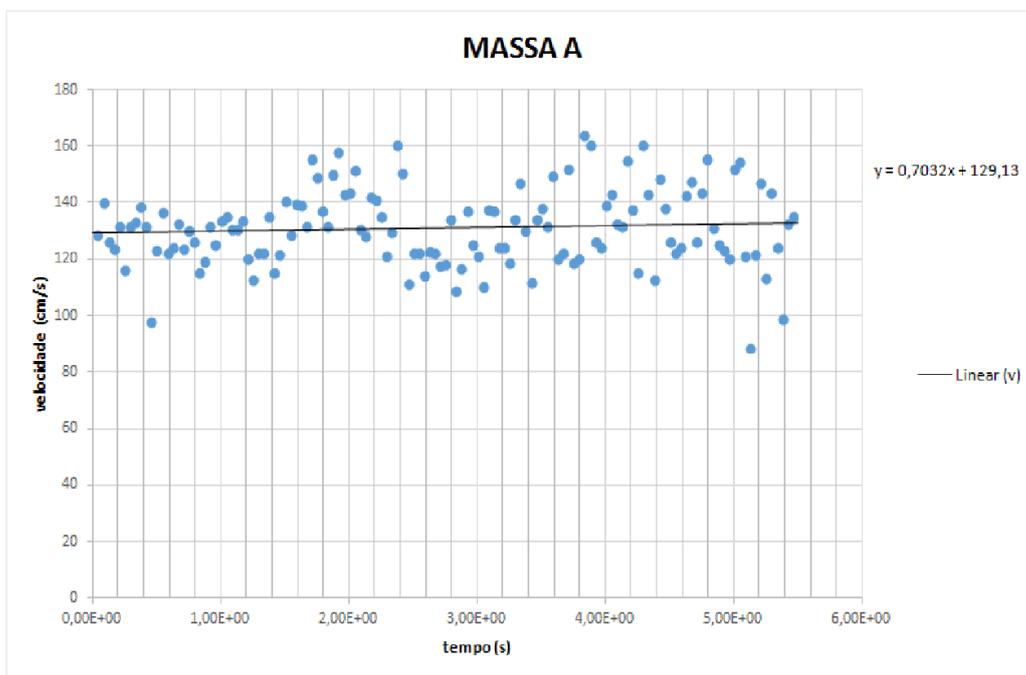


Figura 23 - imagem do gráfico produzido pela equipe 2, da velocidade pelo tempo para a massa A.
Fonte: autoria própria

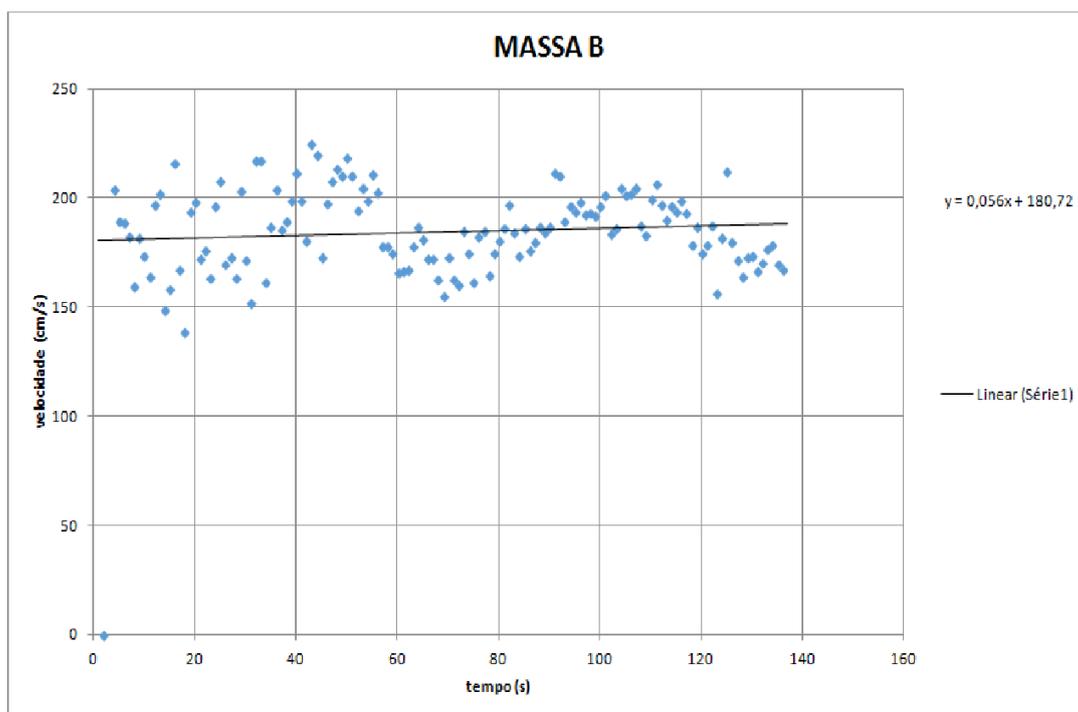


Figura 24 - imagem do gráfico produzido pela equipe 2 da velocidade pelo tempo para a massa B.
Fonte: autoria própria

Assim como a equipe 1, a equipe 2 não se preocupou com a apresentação dos dados obtidos, e também linearizou o gráfico, obtendo uma equação e colocando no gráfico. A interpretação dos dados da equipe 2 foi feita de maneira descritiva de todo o processo, sem usar tópicos, citando que foi proposital usarem dois pontos com raios diferentes. Complementaram citando: "ao analisar o gráfico de ambos os pontos observamos que a velocidade do ponto B (mais afastado carrinho) é maior". E concluíram a explicação comparando os valores com a teoria: "pois para fazer um período no mesmo tempo que o corpo A (mais próximo), ele precisa ser mais rápido"

4.1.3. Resultados da equipe 3

A equipe 3 fez a análise do carrinho de controle remoto, em rotações simples sem a presença de outros corpos. Pegaram e prenderam a ventosa no fio e o fio no carrinho, fazendo-o executar algumas rotações.

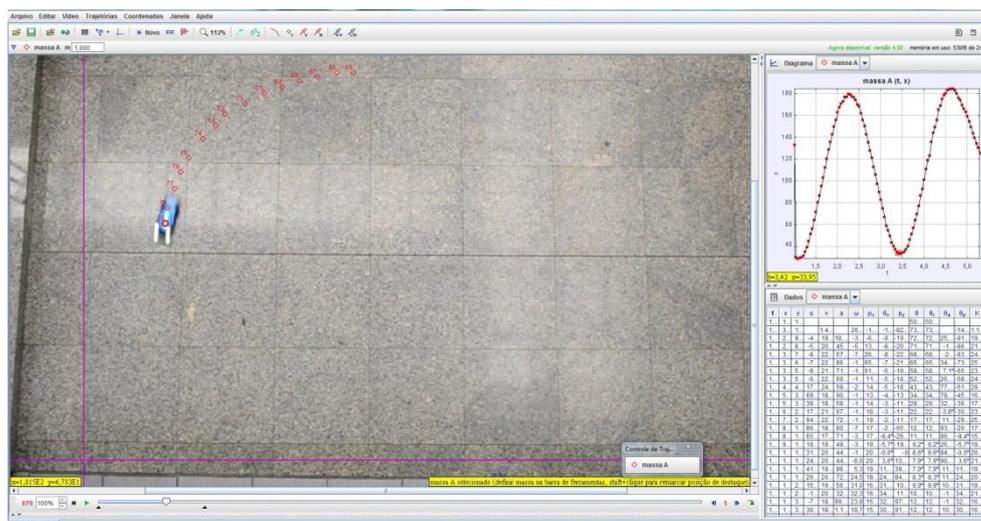


Figura 25 - imagem do vídeo da equipe 3 sendo analisado. Fonte: autoria própria

Dentre as informações escritas na folha de observação, um item diferenciado apareceu: "Os valores acabaram sendo muito variáveis por diversos motivos como o piso muito liso, um mouse horrível para a marcação dos pontos, o carrinho não tinha velocidade constante". No arquivo de dados encontramos o seguinte gráfico

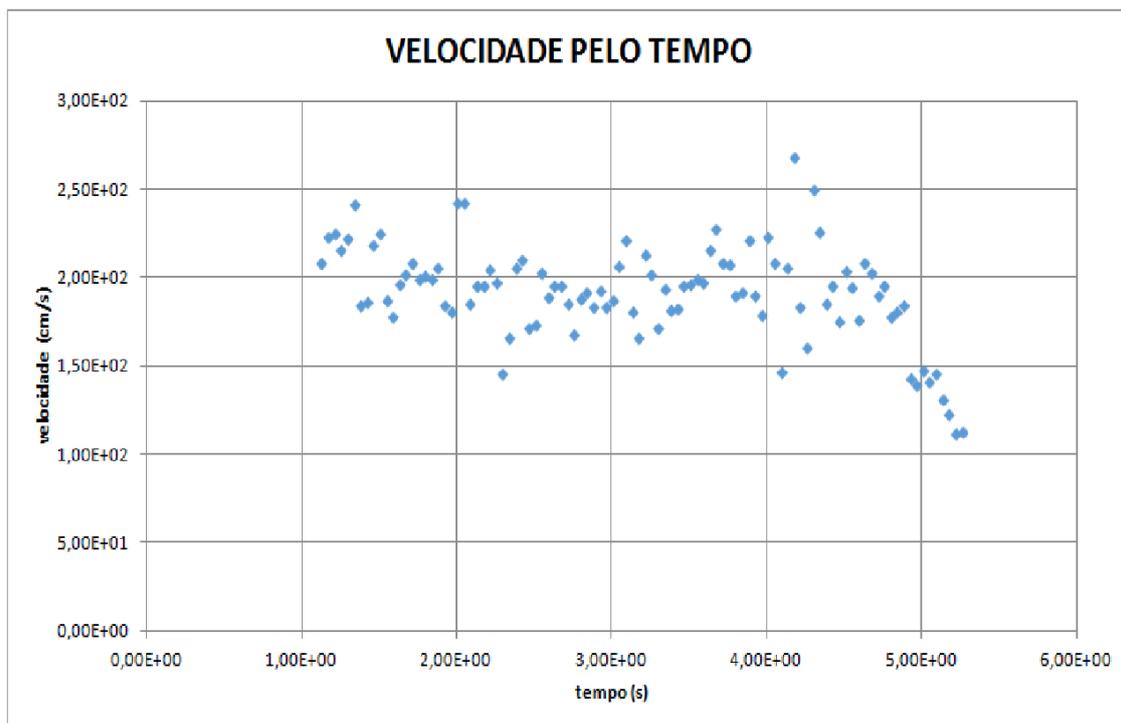


Figura 26 - imagem do gráfico produzido pela equipe 3, usando valores da velocidade e do tempo. Fonte: autoria própria

A equipe não desenvolveu nenhuma análise sobre os dados obtidos e nem sobre o gráfico feito. A única informação referente aos dados na folha de observação é: "tentamos montar algumas relações nos gráficos como fórmulas resultando na área de determinados gráficos. Porém não conseguimos montar os mesmos". E diferentemente das outras equipe não tentou linearizar o gráfico.

4.1.4. Resultados da equipe 4

A equipe 4 fez análise da rotação das hélices de um ventilador de parede. A gravação foi feita com um smartphone que grava em "câmera lenta", estando regulado no momento para gravar 120 frames por segundo. A escolha deles seguiu os critérios do LNE, pois estavam livres para a escolha de qualquer objeto que se enquadre no proposto, logo não precisavam gravar o carrinho de controle remoto. O ventilador era de uma sala que encontrava-se em aula, os alunos pediram licença para o professor e fizeram a gravação. A propensão por gravar em câmera lenta também foi feita pelos alunos, a

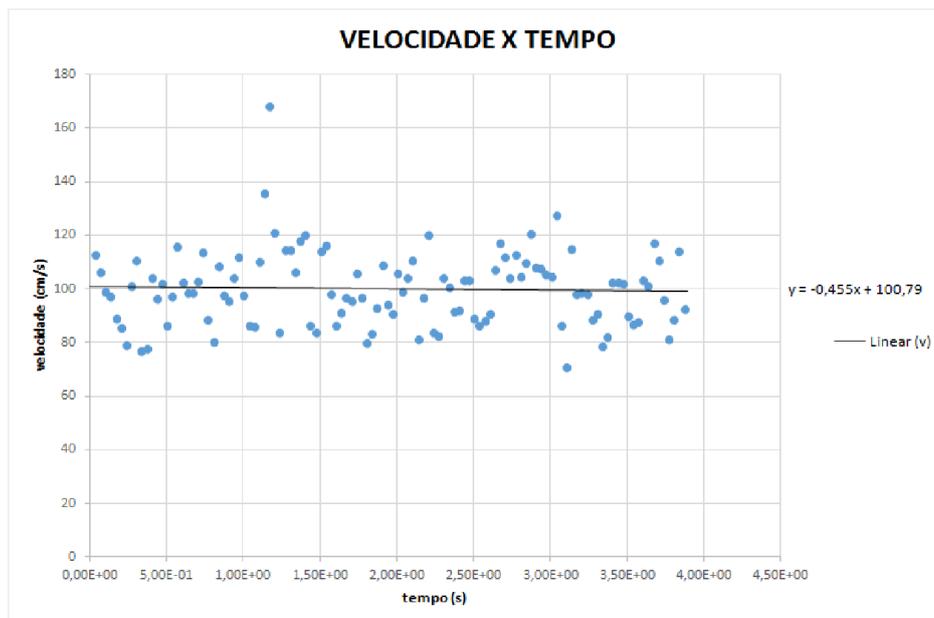


Figura 28 - imagem do gráfico produzido pela equipe 4, da velocidade pelo tempo. Fonte: autoria própria

Na figura 28 vemos a imagem do gráfico produzido pelos alunos em que o eixo vertical contem os valores do modulo da velocidade, e no eixo horizontal encontramos os valores do tempo. Seguindo o comentário dos alunos, percebe-se que houve uma tendência dos valores permanecerem dentro de uma margem. No gráfico ainda encontramos uma linha pontilhada iniciando no valor 100,79, que corresponde a linearização dos valores.

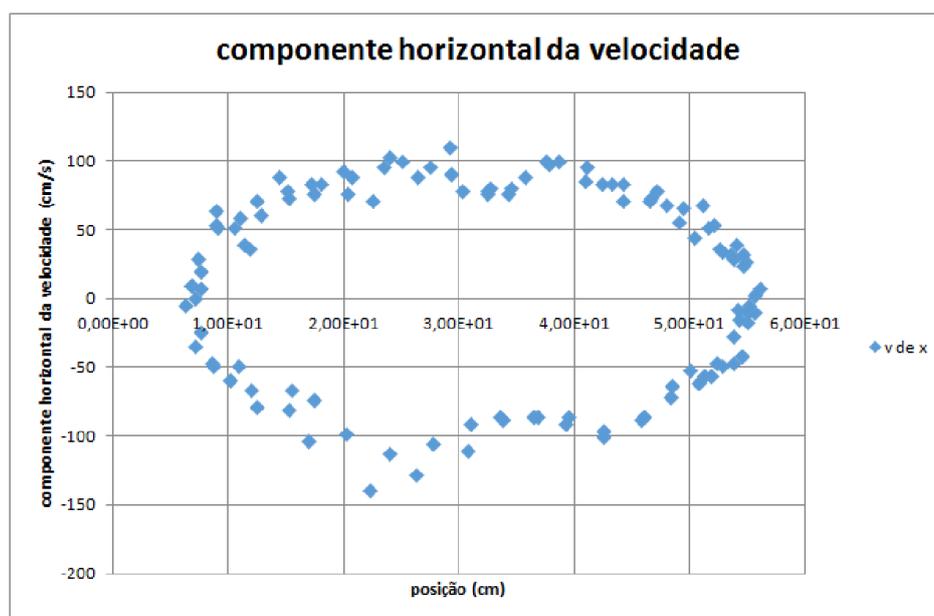


Figura 29 - imagem do gráfico produzido pela equipe 4, usando os valores da componente horizontal do vetor velocidade em função da posição do objeto. Fonte: autoria própria

Na figura 29 vemos a imagem do gráfico, também produzido pelos alunos, em que estão disponibilizando o valor da componente horizontal do vetor velocidade em função da posição do objeto. Analisando o gráfico nota-se que o significado físico está correto com relação aos valores, pois colocando o centro da circunferência em aproximadamente 30cm, percebe-se que ocorre o módulo máximo da componente horizontal da velocidade em dois pontos, aproximadamente no centro do movimento. Nota-se também, que ocorre o módulo mínimo da componente horizontal da velocidade em dois pontos, aproximadamente nos valores de menor e maior posição. Não houve comentários dos alunos na folha de observação sobre a construção e intenções sobre esse gráfico.

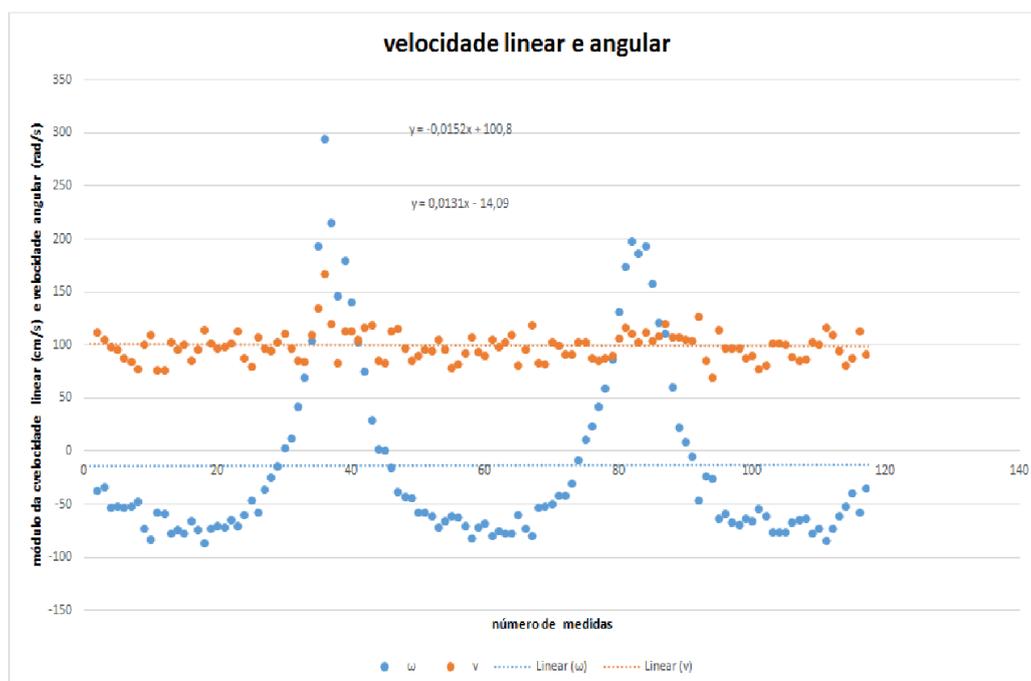


Figura 30 - imagem do gráfico produzido pela equipe 4, em que a linha laranja representa o módulo do vetor velocidade, e a linha azul representa o vetor velocidade angular. Fonte: autoria própria

O último gráfico produzido pela equipe 4 está representado na imagem da figura 30, nele apresentam-se os valores do módulo da velocidade linear com o vetor velocidade angular, o primeiro está representado pela linha laranja e o segundo pela linha azul. Sobre os valores encontrados o comentário feito

na folha de observações pelos alunos foram: "os valores da velocidade ficaram bem adequados, mas a angular gerou dúvidas".

4.2. Resultados da atividade do Momento de Inércia

A atividade ocorreu no dia planejado, 17 de setembro, com início às 14h com a presença, inicialmente, de 16 alunos. Dois alunos a menos que a atividade anterior, ambos possuindo compromisso nesse dia, sendo que um deles perguntou se poderia chegar após as 16h, e foi autorizado pelo professor pesquisador, assim sendo, chegou às 16h e 12 min e permaneceu na aula até o término.

Diferentemente da primeira atividade de recapitulação do movimento circular, em que os alunos se dirigiram para o laboratório de informática para a utilização dos computadores, essa aula contou, para o processo de coleta de dados, com um *netbook (slidepad* da marca LG) por aluno, devidos às funções como *touchscreem* (mesmo assim ainda foi disponibilizado um mouse por *netbook*), 11 polegadas permitindo uma maior mobilidade, utilizar o sistema operacional da *Microsoft* (Windows 8.1), e não precisar se deslocar para o laboratório de informática, possibilitando uma maior comodidade.

O início da aula deu-se com a confecção dos dois objetos que rolamento (rotação + translação). Os alunos demoraram aproximadamente 15 minutos para o término dessa etapa, as imagens da confecção bem como a massa deles podem ser vistas nas figuras 13, 14, 15 e 16.

Após a confecção foi preparada a rampa de rolamento. Essa rampa consiste em uma placa de madeira, tipo compensada, que foi colocada entre duas bancadas do laboratório de Física, mantida inclinada por um banco. Sua preparação consiste basicamente em fixação e anotação da altura, com relação à bancada, que os objetos serão soltos. Nessa atividade foi utilizado um tripé na filmagem para melhor qualidade das medidas. As imagens referente a esse processo podem ser vistas nas figuras 31 e 32.

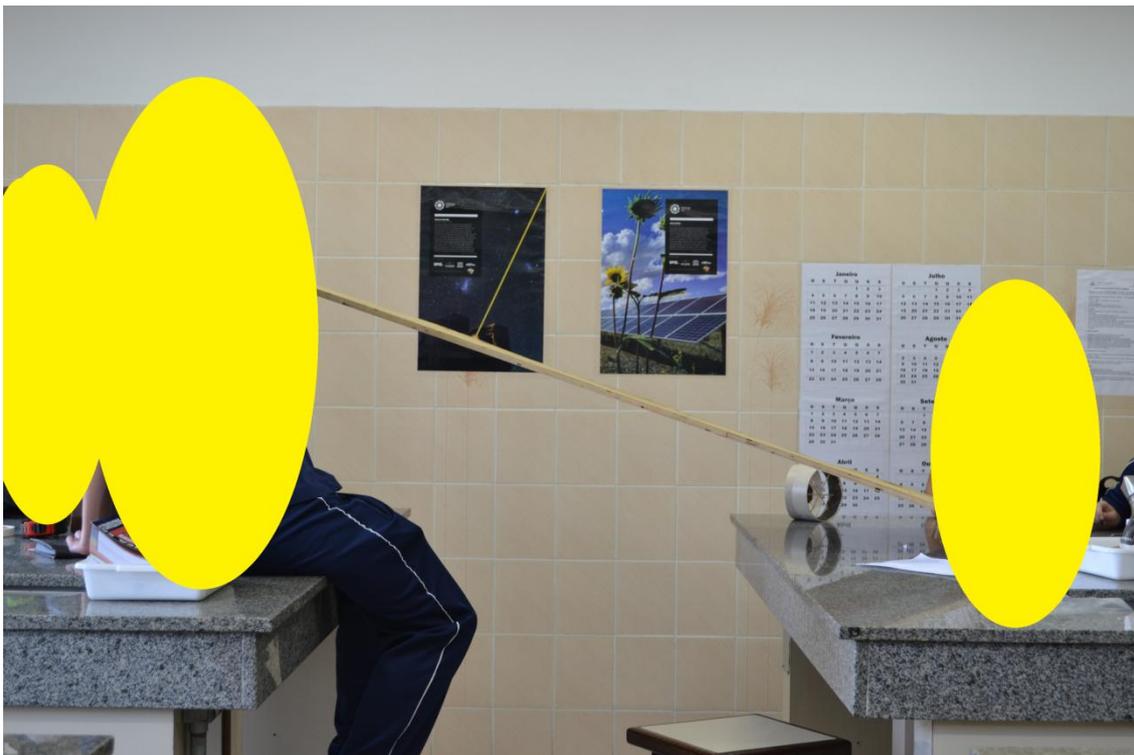


Figura 31 - Rampa de rolamento sendo preparada. Fonte: autoria própria



Figura 32 - Rampa de rolamento finalizada. Fonte: autoria própria

Inicialmente foi averiguado as concepções prévias dos alunos através da pergunta: "se eu soltar esses dois anéis de PVC do mesmo ponto na rampa, qual dos dois chegará primeiro?" a resposta para essa pergunta foi unanime dizendo que deveriam chegar juntos. Após a pergunta um aluno questionou: "professor, se você ta perguntando isso é porque não vão chegar", aproveitando a situação o professor pesquisador retrucou: "se não chegarem, qual chegará primeiro? A partir desse momento a unanimidade da sala se desfez, as opiniões ficaram divididas, mas não houve nenhum argumento científico, mesmo que errado, sobre a resposta da pergunta. Isso se deve ao motivo do tamanho dos objetos serem o mesmo e também sua massa. Ficou constatado que não havia nenhum conhecimento prévio com relação a interferência da distribuição de massa dos corpos.

Então foi autorizado pelo professor que acontecesse uma descida na rampa dos aros de PVC, que foi executada pelos próprios alunos, e evidentemente provado que o objeto com a massa centrada chegou antes.

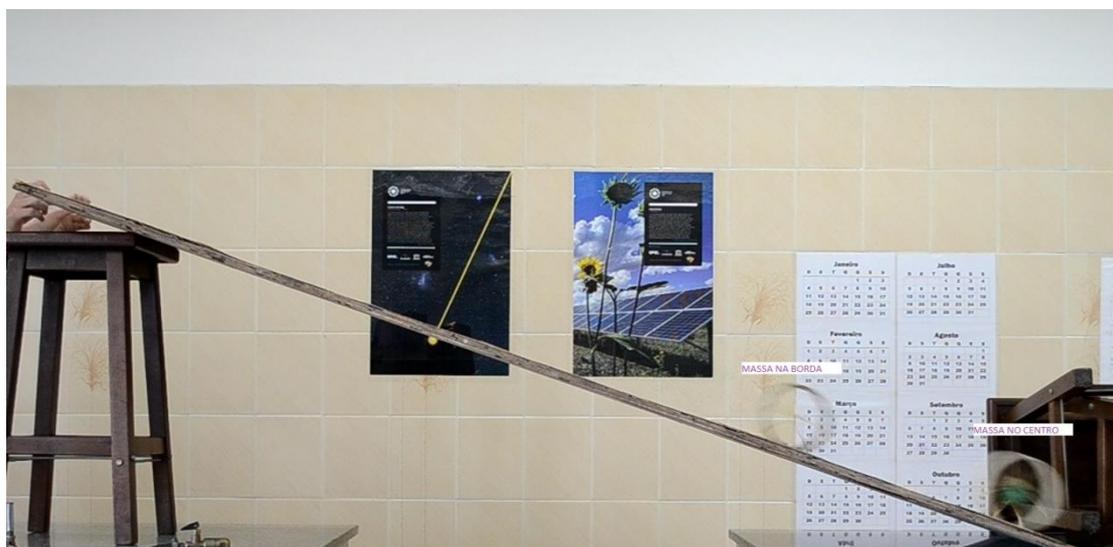


Figura 33 - imagem da descida na rampa dos dois objetos. Fonte: autoria própria

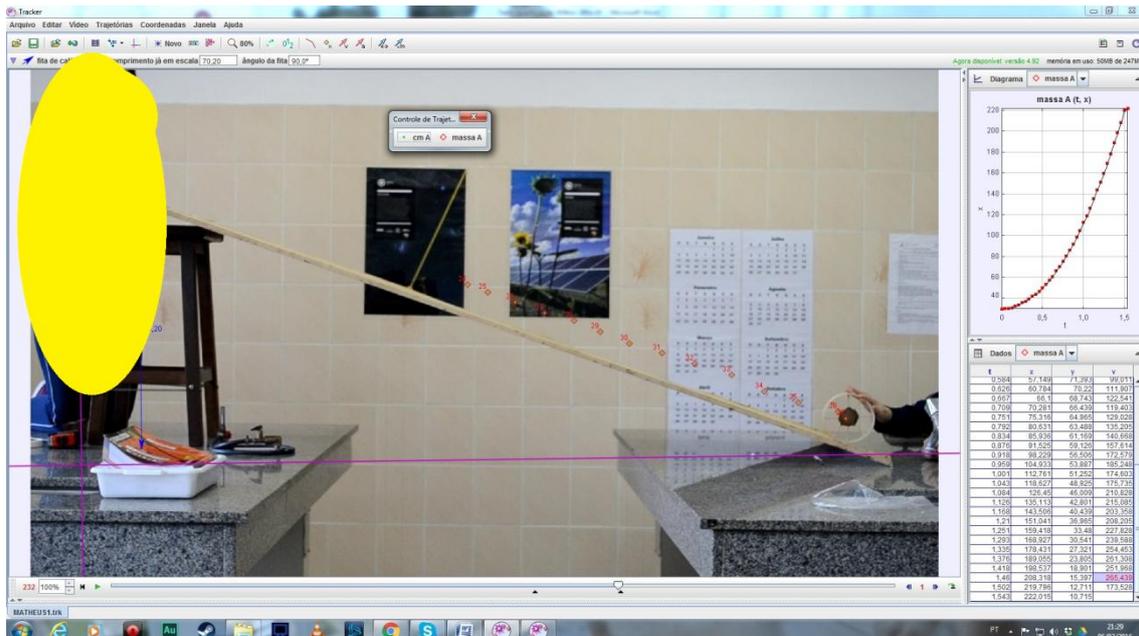
Após a demonstração que a massa no centro chega antes, houve um levantamento sobre os motivos que levam a esse fenômeno, e novamente não houve nenhuma argumento valido ou não. O que ficou registrado pelo professor no diário de bordo foi que a interação dos alunos aumentou a partir do momento da demonstração, e que houve, por parte dos alunos, a iniciativa de soltar novamente os objetos, o que se repetiu oito vezes, e sequencialmente

por quatro alunos diferentes foi feita a mesma pergunta: "sempre vai ser assim?". Como não existiu indícios de conhecimentos prévios, a aula teve sequência passando para a próxima etapa: a introdução do conceito de energia rotacional.

Para a transposição do conceito de energia, foi gravado os dois vídeos para a videoanálise, um para a massa na borda e o outro para a massa no centro. Todos os alunos fizeram ambas as análises individualmente. Os valores encontrados pelos 16 alunos para módulo da velocidade linear estavam compreendidos entre 184,474 cm/s e 202,826 cm/s para anel com massa periférica, e entre 248,368 cm/s e 265,439 cm/s para a massa centralizada. Os valores encontrados pelos dezesseis alunos podem ser vistos na tabela 5. Para o desenvolver da atividade, seguido o objetivo da aula, foi pego o maior valor da velocidade, o que ocasiona o maior valor de energia cinética translacional.

Aluno	Velocidade para o anel com a massa no centro (cm/s)	Velocidade para o anel com a massa na borda (cm/s)	Aluno	Velocidade para o anel com a massa no centro (cm/s)	Velocidade para o anel com a massa na borda (cm/s)
1	185,792	260,504	9	189,646	253,311
2	194,963	261,653	10	193,892	259,403
3	186,145	260,989	11	197,264	265,439
4	200,705	259,324	12	190,030	261,037
5	197,964	257,897	13	188,481	258,640
6	190,798	262,261	14	184,474	248,368
7	188,226	257,562	15	189,514	257,617
8	202,826	250,779	16	198,368	262,273

Tabela 6- valores encontrados pelos alunos para o módulo da velocidade linear, os dados marcados em vermelho foram os extremos encontrados para cada situação. Fonte: autoria própria



**Figura 34 - análise produzida por um aluno que ocasional o maior modulo da velocidade linear.
Fonte: autoria própria**

A partir do valor de 265,439 cm/s foi feito um cálculo de comparação, no quadro, com essa informação e a altura medida inicialmente, que era de 70,20 cm. De acordo com a Física previamente estudada no ensino médio, a energia potencial gravitacional iria se transformar em energia cinética, isto é, deveria acontecer a conservação da energia mecânica.

Quando colocado no quando a expressão da energia potencial gravitacional com a altura de 0,7020 metros e a massa do corpo de 0,215 quilogramas, encontrou-se um valor de 1,479 Joules. Quando colocado na expressão da energia cinética o mesmo valor de massa e a velocidade de 2,65439 m/s encontrou-se 0,757 Joules. Então o professor fez o seguinte comentário: "mesmo usando o maior valor da velocidade, o corpo chega no fim da trajetória com praticamente metade da energia, pra onde foi a outra metade?". A resposta coletiva foi: "atrito!". O professor mediu dizendo que existia atrito sim, mas que ele não era responsável por toda essa perda. Então o professor fez um direcionamento: "pensem o que tem de diferente essa situação real das situações dos exercícios da apostila!". Houve um curto momento de silencio, aproximadamente uns 30 segundos, quando um estudante comenta: "professor, é por causa que aqui ele gira?". Então a partir desse momento houve uma discussão coletiva, com a participação do

professor, sobre o que seria o rolamento, que culminou com a explicação por parte do professor da energia cinética rotacional e no momento de inércia. Como fechamento da aula, ocorreu uma apresentação de slides do professor em que mostra momentos de inércia de alguns corpos, as expressões matemáticas e o registro das observações dos alunos.

4.3. Resultado da atividade de conservação do momento angular

No dia 24 de setembro, as 14h e 05 minutos iniciou-se a última atividade da presente pesquisa. Ela foi a mais rápida das atividades, com duração de cerca de uma hora e contou com todos os 18 alunos. A primeira parte da aula foi uma recapitulação das duas aulas anteriores, em que o pesquisador retomou o conteúdo a fim de encontrar indícios de aprendizagem dos conteúdos, principalmente dos que remetem à aula anterior. Durante essa primeira parte notou-se, através dos comentários dos alunos, que após o término da última aula durante o decorrer da semana, eles discutiram entre eles sobre as atividades realizadas no laboratório. O registro mais significativo feito no diário de bordo com relação a esse momento foi de um aluno que citou ter assistido um vídeo que estava vinculado em uma rede social. Nesse vídeo um pneu se solta do carro, o qual não estava muito rápido, e acerta uma pessoa. A conexão com o conteúdo, por parte do aluno, ocorreu ao relatar que apesar de não estar muito rápido, a roda do carro "carregava" muito energia, pois além de "ir pra frente" ela girava, machucando bastante a pessoa.

Após o término da recapitulação, foi colocada situações em que a distribuição de massa interfere na rotação do corpo. Foi comentado o caso da bailarina, de ginastas, e correlacionado isso com o momento de inércia do corpo. Então o professor se utilizou de uma apresentação de slides para formalizar o conteúdo de momento angular de um corpo.

Quando as informações de momento angular foram transmitidas para os alunos, houve na apresentação um slide com a relação entre as grandezas lineares e as grandezas rotacionais.

PARALELO ENTRE MOVIMENTO LINEAR E ANGULAR

	MOVIMENTO LINEAR	MOVIMENTO ANGULAR	
POSIÇÃO	x	θ	POSIÇÃO ANGULAR
VELOCIDADE	v	ω	VELOCIDADE ANGULAR
ACELERAÇÃO	a	α	ACELERAÇÃO ANGULAR
EQUAÇÕES DO MOVIMENTO:	$x = \bar{v}t$	$\theta = \bar{\omega}t$	EQUAÇÕES DO MOVIMENTO
	$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	
	$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	$\theta = \omega_0t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	
	$v^2 = v_0^2 + 2ax$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$	
MASSA	m	I	MOMENTO DE INÉRCIA
SEGUNDA LEI DE NEWTON	$F = ma$	$\tau = I\alpha$	SEGUNDA LEI DE NEWTON
MOMENTO LINEAR	$p = mv$	$L = I\omega$	MOMENTO ANGULAR
TRABALHO	Fd	$\tau\theta$	TRABALHO
ENERGIA CINÉTICA	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}I\omega^2$	ENERGIA CINÉTICA
POTÊNCIA	Fv	$\tau\omega$	POTÊNCIA

Figura 35 - comparativo entre as grandezas lineares e rotacionais apresentado aos alunos.

Após o comparativo foi feita a atividade prática do terceiro encontro. Pegou-se uma cadeira giratória, dessas comuns, e duas garrafas pet de dois litros, cheias de água. Um aluno se voluntariou para atividade, e sentou na cadeira segurando uma garrafa em cada mão. Um segundo aluno começou a rotacionar o outro estudante. Nesse momento o professor perguntou: "se ele abrir os braços o que vai acontecer?", não houve divergência na resposta, todos conseguiram prever que ao abrir os braços a velocidade angular do aluno iria diminuir. O mesmo ocorreu quando no processo inverso, isto é, quando o aluno fechou os braços.

Das anotações em diário de bordo do pesquisador, destaca-se que o interesse dos alunos por essa atividade foi grande, 14 dos 18 alunos queriam sentar na cadeira e serem girados, para alternarem os braços em abertos e fechados. Destaca-se também a feição de satisfação dos alunos ao conseguir prever o que ia acontecer com a velocidade angular.

4.4. Interligação dos resultados

Após o término das atividades e a coleta de dados do pesquisador, pode-se correlacionar fatores propostos e previstos pela metodologia empregada, com os resultados obtidos através dos produtos das atividades realizadas pelos alunos e das anotações e transcrições realizadas no diário de bordo do pesquisador.

Como fator elementar à análise subsequente é a ancoragem metodológica em que o trabalho foi fundamentado. Considera-se como base para uma análise perante a perspectiva do LNE a premissa que: "no LNE, o processo pelo qual o aluno passa acaba sendo mais significativo que os valores do resultado" (citação da seção 2.2.1 do presente trabalho).

Nota-se que processo mediado pelo LNE foi significativo quando na atividade 1 a equipe 1 teve a liberdade de fazer duas gravações de vídeo, se a atividade fosse fundamentada na teoria do laboratório estruturado, essa videoanálise provavelmente não teria ocorrido. Em consequência disso o gráfico da figura 18 não existiria, e os alunos não teriam visto os picos que ocorrem na velocidade, assim sendo, não chegariam as conclusões importantes que chegaram sob o tipo e características do movimento e as forças empregadas.

O mesmo raciocínio anterior pode ser empregado na seção 4.1.2. quando a equipe 2 teve o intuito de confrontar a relação entre as grandezas do movimento circular, fazendo dois objetos rotacionar em torno do mesmo ponto. Comparando os dois gráficos produzidos, figura 23 e 24, com as atividades propostas e realizadas, nota-se que a equipe 2 obteve êxito, pois com o objetivo era de recapitular as características do movimento circular. A equipe aperfeiçoa a atividade do professor, comparando a velocidade em uma situação importante e corriqueira em exercícios do ensino médio, e nas suas citações faz a correta análise, mostrando que a interpretação do fenômeno e realização foram bem sucedidos.

Também pode-se notar a perspectiva do LNE na atividade 1 da equipe 4, em que a videoanálise não foi realizada da atividade indicada pelo professor, mas sim de um ventilador, isto é, um objeto escolhido por eles. Dentro a visão proposta pelo PCN+ (BRASIL, 2002), essa atividade contribuiu para a

formação do cidadão contemporâneo pois ela proporcionou o estudante participar, compreender e intervir em uma atividade real, presente em seu cotidiano, sendo significativa também no desenvolvimento da autonomia formando um aluno mais participante. Percebe-se o cenário criado pelas atividades do LNE dialoga com as diretrizes do PCN, compactuando com a metodologia empregada no presente trabalho.

De acordo com os resultados obtidos é possível verificar a relação do uso do *Tracker* com os as competências e habilidades do PCN, propostas por Matsunaga (2015) apresentados aqui na tabela 1 (página 43), e também verificar as atividades propostas pelo presente trabalho com outras competências e habilidades de acordo com a tabela 2 (página 44).

- **Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões:** ocorreu na primeira atividade para a equipe 1 quando correlacionou a força que o aluno foi empurrado pelos membros da equipe com os picos encontrados no gráfico da velocidade, a competência também pode ser notada no comentário que as pessoas empurravam em intervalos de tempos irregulares. Ainda na primeira atividade da equipe 1, também verificou-se quando tentaram encontrar a aceleração centrípeta na produção do seu segundo gráfico. A primeira equipe também mostrou relação entre as grandezas quando analisou o gráfico, figura 21, obtido para a velocidade do carrinho, prevendo que a taxa de variação da velocidade refere-se a aceleração.

Nota-se que na primeira atividade a equipe 2 conseguiu relacionar as características das grandezas do MCU, quando coloca dois objetos para rotacionar com o mesmo eixo, possuindo a mesma velocidade angular e diferentes velocidades lineares. Além disso relacionam da explicação do movimento a noção de período e comprimento da circunferência.

As previsões a partir de conceitos foram importantes para o desenvolvimento da segunda atividade, prática do momento de inércia, pois ocorreram como elementos motivadores para a transposição didática do conteúdo, pois a teoria aprendida até o momento pelos alunos não conectava com a prática.

Considera-se a terceira prática experimental, a conservação do momento angular, devidamente relacionada com a metodologia aplicada nas atividades anteriores quando a competência da previsão do que aconteceria com o aluno rotacionando, com braços abertos e fechados, foi feita. Essa previsão mostra um indicio de validação da metodologia empregada para a transposição didática.

- **Compreender a necessidade e fazer uso de escalas apropriadas para ser capaz de construir gráficos; compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir:** pode-se verificar que nas duas primeiras atividades a construção de gráficos foi efetuada por todos os alunos. Na atividade de recapitulação das grandezas do MCU, o trabalho de relacionar as grandezas seria muito dificultado sem a presença de gráficos. Nota-se que os alunos conseguiram analisar corretamente gráficos de eventos reais, submetidos a situações que os livros didáticos não abordam, como erro de marcação de pontos e de filmagem, acarretando valores que não forcem as curvas características que eles estão acostumados a trabalhar, como retas e parábolas. Mesmo assim situações de relação de grandezas ocorreram, como citado no item anterior.

Ocorreu com a análise dos resultados a observação que os gráficos produzidos por todas as equipes estavam descaracterizados de unidades de medidas. Caso essa atividade tivesse ocorrido com um número maior de encontros, ou em situação de uma atividade curricular, o tratamento de dados dos gráficos precisaria ser discutido. Perante a análise feita pelos alunos, considera-se uma displicência por parte deles a não apresentação das unidades, e não uma falta de conhecimento.

- **A experimentação faz parte do desenvolvimento das competências:** como citado por Matsunaga (2015) na tabela 1, a possibilidade de reprodução das atividades em qualquer ambiente gera uma gama de possibilidades para o professor que for atuar com o *Tracker* em sala de aula. Essa flexibilidade de opções de utilização pode promover a socialização do laboratório de Física.

- **Descrever relatos de fenômenos ou acontecimentos que envolvam conhecimentos físicos:** ocorreu de maneira escrita no final das duas primeiras atividades propostas, em que os alunos tiveram que descrever relatos do que foi significativos, perante os princípios da Física, pra eles nas atividades. O mesmo ocorreu na terceira atividade, mas de maneira oral na forma de revisão.
- **Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia:** ocorreu na atividade de recapitulação das grandezas com a equipe 4, houve a interligação dos temas de ciência e tecnologia quando o aluno resolveu o problema da velocidade do ventilador gravando em câmera lenta, e fazendo a relação de quantos quadros por segundo eram gravados. Nota-se também que nessa primeira atividade a equipe 3 soube se posicionar criticamente com relação os funcionamento de elementos tecnológicos, argumentando que isso interferiu nos resultados.
- **Identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la:** ocorreu na segunda atividade quando os alunos tiveram que identificar as variáveis existentes na descida de um corpo em uma rampa e confrontar seus conhecimentos para resolver a situação da aparente "não conservação" da energia mecânica.
- **Identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário. Identificar também formas de dissipação de energia e as limitações quanto aos tipos de transformações possíveis impostas pela existência, na natureza, de processos irreversíveis:** ocorreu em todo o desenvolvimento da segunda atividade, pois a identificação da conservação de energia foi o gancho para a transposição didática do momento de inércia.
- **Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões:** ocorreu na segunda e terceira atividades. Na segunda atividade foi necessário elaborar um modelo de duas situações: a primeira na

situação que a energia aparentemente não estava se conservando, e a segunda na situação foi a partir de levantamento de hipótese para qual objeto iria descer antes, se o objeto com a massa no centro ou na borda. Na terceira atividade ocorreu após a revisão do conteúdo, quando em cada aplicação de conservação e características de momento angular eram comentados, pelos alunos, as implicações e relações da Física

- **Reconhecer e avaliar o desenvolvimento Tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social:** ocorreu, como exemplo, em um diálogo direto, durante a primeira atividade, entre um aluno da equipe 3 e o professor na seguinte pergunta: "professor, sabe aquelas câmeras de segurança que ficam monitorando o lado de fora das casas? Se um acidente entre um carro e uma pessoa for gravado, dá pra fazer a perícia do acidente?". Considera-se então que essa habilidade foi desencadeada a partir do momento que no laboratório didático de Física se trabalham situações reais, gerando assim conexões entre o saber ensinar e o mundo cotidiano.
- **Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo:** ocorreu durante a montagem dos objetos que desceriam a rampa, enquanto os alunos executavam a atividade o professor foi dialogando com eles, elucidando o motivo da escolha dos materiais envolvidos (massa de modelar, palitos de churrasco, cano de PVC, etc.), bem como a escolha do software adotado.
- **Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação:** ocorreu, principalmente, na segunda atividade quando os alunos se depararam com a situação da descida com rolamento. Eles tiveram que reconhecer que aquela situação era diferenciada para eles e que isso acarretaria nova interpretação explicativa do modelo.

No capítulo 2.5 desse trabalho, que fez a integração das teorias que embasam o método proposto para uma possível transposição didática, ficou

definido que a metodologia adotada teria êxito se em sua aplicação contemplasse as cinco regras propostas por Jose de Pinho Alves Filho (2000 e 2004). Dar-se-á agora, para cada regra de transposição didática, a junção do que foi proposto pelo referencial teórico com a análise dos resultados obtidos.

- **Regra 1 - modernizar o saber:** ocorreu em todas as etapas do processo de transposição. A utilização de videoanálise para a interpretação de um fenômeno físico é uma forma de modernizar a forma de ensinar Física. E foi, nesse trabalho, um objeto de aprendizagem essencial, a videoanálise possibilitou a comprovação da velocidade que os objetos atingiam no final da rampa era muito inferior do que a teoria por eles conhecida dizia.

A utilização de elementos tecnológicos ocorreu de diversas maneiras, seja com a utilização de celulares, seja indo ao laboratório de informática, ou trazendo elementos do laboratório de informática até eles, como no segundo dia em que os alunos usaram *netbooks* no próprio laboratório de física.

A forma de interpretação e análise de valores, teve em sua constituição elementos modernos. Os dados obtidos pelo *Tracker* foram analisados no Microsoft Excel, e a própria construção de gráficos fugiu do tradicional papel milimetrado e foi executada de maneira diferenciada do comum para o ensino médio.

Considera-se que a própria forma de mediação utilizada para o desenvolvimento das atividades foi uma forma modernização, não no sentido restrito da palavra, mas no sentido amplo que remete ao ato de inovação do processo. O uso das características do LNE para a coleta de dados é, além de uma forma de estimular e desenvolver habilidades, uma forma moderna de qualificar o cidadão contemporâneo.

- **Regra 2 - atualizar o saber a ensinar:** o conteúdo inserido nas intervenções desse trabalho são reflexo da mudança que vem ocorrendo na forma de ensinar Física, que foi proposto inicialmente na LDB, e posteriormente nos PCNs e Diretrizes Curriculares. O presente trabalho compactua com essa visão proposta e procurou contribuir com essa nova perspectiva tentando transpor alguns conteúdos para o ensino médio, que deram aos alunos envolvidos a possibilidade de mostrar

indícios de uma visão mais completa da mecânica do movimento, podendo assim interpretar situações comuns do seu cotidiano de maneira crítica e científica. Logo, ensinar dinâmica rotacional do ensino médio foi uma forma de atualizar o saber a ensinar.

- **Regra 3 - articular o saber a ensinar:** se deu através do processo esclarecimento de uma situação problema que o conteúdo "antigo" (conservação de energia) não foi capaz de solucionar, fazendo então que ocorre-se a introdução de um "novo" conteúdo (energia cinética rotacional), que complementou a teoria antiga, englobando-a, e solucionando a situação problema. Também ocorreu a articulação do saber a ensinar quando os corpos com diferentes disposições de massa foram colocados na rampa e tiveram tempos diferentes de descida. Foi necessário a introdução de um novo conceito (momento de inércia) para que a situação pudesse ser devidamente explicada.
- **Regra 4 - Transformar um saber em exercícios e problemas:** a problematização ocorreu durante os processos de articulação do saber a ensinar, em que uma situação prática devia ser respondida adequadamente. A presente pesquisa optou por vincular as duas regras de transposição por questão de tempo de trabalho, pois foram apenas três encontros, e por entender que as cinco regras propostas por Jose de Pinho Alves Filho são complementares entre si, e que uma não aconteceria adequadamente sem a outra. Logo a articulação do saber ocorre, para a presente pesquisa, de maneira mais efetiva se confrontada com problemas reais e aplicáveis. A problematização ocorreu também no início da terceira atividade quando foi recapitulado os conteúdos vistos anteriormente, e quando chegou-se no estudo do caso da bailarina e dos ginastas.
- **Regra 5 - Tornar o conceito mais compreensível:** essa regra dialoga com a própria proposta do trabalho, que é ensinar um conteúdo visto apenas no ensino superior, com um grau de conceitos matemáticos elevados, no ensino médio. Considera-se que essa regra foi cumprida quando nota-se na última atividade que os alunos conseguiram prever o que aconteceria com o aluno rotacionando em uma cadeira segurando duas garrafas com água, e conseguiram transpor situações vistas nas

atividades para o seu cotidiano, como no caso que na revisão da terceira atividade o aluno comenta sobre o acidente com um pneu.

Após essas análises, verifica-se a presente atividade ocorreu de maneira a mostrar indícios de contemplar as competências e habilidades que propunha, bem como mostrar indícios de cumprir com as cinco regras da transposição didática propostas por Jose de Pinho Alves Filho (2000 e 2004).

5. Conclusão

A metodologia empregada para a transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional para o ensino médio, através do uso dos conceitos do laboratório não estruturado mediado pela videoanálise realizada com o software *Tracker*, segundo as condições de José de Pinho Alves Filho, se mostrou válida, pois cumpre com as regras de transposição, além de ser coerente com as propostas e determinações do MEC.

O objetivo deste trabalho é validar em sala de aula uma metodologia de transposição didática do conteúdo de dinâmica rotacional para o ensino médio, desenvolvendo assim um material de apoio ao professor. Dentro das condições e características em que esta pesquisa foi aplicada, nota-se que houve indícios de aprendizagem do conteúdo por parte dos alunos, validando assim a metodologia empregada.

As três atividades realizadas com os alunos, além de estarem fundamentadas para a transformação do saber, perante a transposição didática, também estavam coesas com a sinalização da importância de alguns conteúdos e do uso de tecnologia nos meios de ensino, que são propostos pelo MEC através dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Logo, algumas competências e habilidades foram contempladas durante as atividades, possibilitando um desenvolvimento mais amplo do estudante.

Para esse grupo de alunos participantes da atividade, conclui-se que completou as atividades com uma fluência no software *Tracker*, que era um dos objetivos específicos deste trabalho, mas os alunos necessitam retomar alguns conceitos de tratamento de dados, principalmente na confecção de gráficos.

Conclui-se que a aplicação da metodologia de pesquisa e procedimentos experimentais proposta para o presente trabalho corrobora os aspectos expostos nos objetivos e no referencial teórico do mesmo. Os requisitos de Alves Filho para a transposição didática, ao serem levados em consideração, apresentam, nos resultados, evidências de uma transposição didática dos conceitos de dinâmica rotacional bem sucedida, o que sugere fortemente que é possível a sua abordagem no Ensino Médio, ainda que de forma não necessariamente quantitativa. Neste ponto, a utilização do Laboratório Não Estruturado também aponta resultados pertinentes nos indícios de aprendizagem, o que também dialoga com o nosso referencial teórico. Este referencial de trabalho também possibilita a promoção e o desenvolvimento de competências e habilidades previstas nas diretrizes oficiais, tanto nos PCN+ como na Matriz de Referência do Enem.

Desta forma, concluímos que esta proposta de trabalho de transposição didática, via uso da videoanálise como mediadora em um laboratório não estruturado, do tema de dinâmica rotacional ao Ensino Médio apresenta resultados significativos em evidências do ensino e aprendizagem no tema, o que corrobora a tese posta em seus objetivos e atestam a sua validade.

6.Referências

ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 21, n. especial**, 2004.

ALVES FILHO, J. P. **Atividade experimental: do método à prática construtivista**. Tese de doutorado. Programa de pós graduação em educação. UFSC. 2000

BARBETA, V. B; YAMAMOTO, I. Desenvolvimento e utilização de um programa de análise de imagens para o estudo de tópicos de Mecânica Clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, 2002**.

BEZERRA JR, SAAVEDRA FILHO, N. C; A.G.; LENZ, J. A. Videoanálise com o software livre *Tracker* no laboratório didático de Física: Movimento parabólico e segunda lei de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física, V.29, n. Especial I: p. 469-490, set. 2012**.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996, Brasília, Brasil, 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. CNE. Define Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Resolução n. 2, de 30 de Janeiro, 2012.

BROWN, D; COX, A. J. Innovative uses of video analysis. **The Physics Teacher**, v. 47, p. 145-150, 2009.

CAVALCANTE, M. A.; BONIZZIA, A.; GOMES, L. C. P. O ensino e aprendizagem de Física no século XXI: sistemas de aquisição de dados nas escolas brasileiras, uma possibilidade real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, 2009.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica**: questões e desafios para a educação. 4.ed. Ijuí. Unijuí, 2006.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**: Del Saber Sabio Al Saber Enseñado. 3 ed. AIQUE grupo editor, 1998.

COLL. C; MONEREO. C; **Psicologia da educação virtual: aprender a ensinar com as tecnologias da informação e comunicação**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

COSTA. I. F; SILVA. H. C.; Atividades práticas e experimentais numa licenciatura em Física. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. 2004.

FARIAS, A. J. O.; A Construção do laboratório na formação do professor de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física, V.9, n.3: p.245-251, dez. 1992;**

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física Vol. 1: Mecânica. 4. ed.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 1996

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física Vol. 1: Mecânica. 8. ed.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. A.; **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 1985.

LENZ, J.A. <http://página pessoal.utfpr.edu.br/lenz/Tracker>. Acessado em 03 de abril de 2016 às 10:20.

MARION, J.B.; THORNTON. S. T.; **Classical Dynamics of particles and systems;** 5ª ed. Thomson books/Cole - Thomson Learning, 2004.

MATSUNAGA, F.H. **Objetos de ensino, suas potencialidades e dificuldades para a aprendizagem de Física no ensino médio.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica. UTFPR, 2015.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das simulações Computacionais no Ensino de Física . **Revista Brasileira de Física, Vol. 24, Nº 2, 2002.**

MORAN, J. M.; **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá.** 5. Ed.- Campinas SP: Papirus, 2012.

MOREIRA, M. A. **Metodologias de Pesquisa em Ensino.** 1ª ed. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.; GONCALVES, E. S. Laboratório Estruturado Versus Não Estruturado: Um Estudo Comparativo em um Curso Convencional. **Revista Brasileira de Física, Vol. 10, NP 2, 1980**

MOREIRA, M. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de física: um referencial de trabalho. **Investigações em Ensino de Ciências, Vol. 17(2), 2012.**

PIETROCOLA, M. (org.). **Ensino de Física: conteúdos, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora.** Ed. da UFSC, 2 ed., Florianópolis: 2005 .

POZO. J. I.; **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** 5. Ed. -Porto Alegre: Artmed, 2009.

TIPLER, P. A.; **Física: para cientistas e engenheiros.** Vol.1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000

TRACKER BRASIL. <http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/>. Acessado em 19 de Junho de 2016 às 10:20.

VEIT, A. E. Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de Física? **Física na Escola**, v. 6, 2005.

VENTURA, P.C.S.; NASCIMENTO, S.S..Laboratório não estruturado: uma abordagem do ensino experimental de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, V.9, n.1: p.54-60, abr. 1992;