

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ

Experimentos sobre absorção e emissão de radiação térmica e visível
com adaptação do Cubo de Leslie

PONTA GROSSA
2016

WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ

Experimentos sobre absorção e emissão de radiação térmica e visível
com adaptação do Cubo de Leslie

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Gelson Biscaia de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira

PONTA GROSSA
2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

V549 Veronez, Wanderley Marcílio
Experimentos sobre absorção e
emissão de radiação térmica e visível
com adaptação do Cubo de Leslie/
Wanderley Marcílio Veronez. Ponta
Grossa, 2016.
138f.

Dissertação (Mestrado Profissional
em Ensino de Física - Área de
Concentração:
Física na Educação Básica),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Gelson Biscaia
de Souza.
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Américo
Alves Pereira.

1.Ensino de Física. 2.Robótica
educacional. 3.Física moderna. I.Souza,
Gelson Biscaia de. II. Pereira, Luiz
Américo Alves. III. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Mestrado
Profissional em Ensino de Física. IV.
T.

CDD: 530.07

TERMO DE APROVAÇÃO

***Experimentos sobre absorção e emissão de radiação térmica e visível
com a adaptação do Cubo de Leslie.***

MESTRANDO WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ

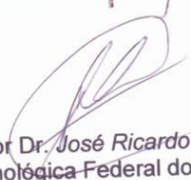
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Polo 35 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela seguinte banca examinadora:



Professor Dr. Gelson Biscaia de Souza (orientador)
Departamento de Física – UEPG/PR



Professor Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Júnior
Universidade Estadual de Maringá (UEM)



Professor Dr. José Ricardo Galvão
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Ponta Grossa, 22 de agosto de 2016

Dedico esta dissertação à minha família e amigos que me deram apoio em toda minha trajetória de estudos. Aos alunos e coordenação do Colégio SESI Irati, pelo envolvimento neste projeto. Aos colegas e professores da primeira turma do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 35 da UEPG, especialmente à Ana Caroline Pscheidt, Hernani Cruz e Luiz Alberto Clabonde pela parceira nesses dois anos de estudo.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores deste trabalho Professor Dr. Gelson B. de Souza e Professor Dr. Luiz Américo Alves Pereira.

Aos professores do Departamento de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que participaram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos e a equipe pedagógica do Colégio SESI Irati, pelo envolvimento e participação na aplicação deste projeto.

A minha família por todo afeto, carinho e apoio recebido durante esses dois anos de estudos.

Aos amigos que fiz durante o período de mestrado e aos velhos amigos que me deram tanto apoio e incentivo.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

RESUMO

Experimentos sobre absorção e emissão de radiação térmica e visível com adaptação do Cubo de Leslie

Kits de Robótica Educacional são normalmente utilizados em experimentos sobre Mecânica Newtoniana e para a construção de robôs autônomos. Tais equipamentos apresentam fácil acesso à linguagem de programação para estudantes e professores. Itens como servo-motores, sensores de toque, ultrassom, luz e temperatura acompanham esses kits. Este trabalho analisa a contribuição da aplicação da Robótica Educacional no estudo de física Moderna no Ensino Médio uma área que demanda atenção especial para sua efetiva implementação nesse nível de Ensino. O produto educacional desenvolvido consiste em um conjunto experimental com um Cubo de Leslie tradicional, com duas faces externas pintadas (branco e preto), uma polida e outra lixada, e outro Cubo de Leslie modificado, ambos construídos em alumínio. O cubo modificado possui as faces internas pintadas de branco e preto alternadamente em relação as faces externas, que também receberam essas cores. O sensor de temperatura foi conectado ao microprocessador e ao computador e gerou gráficos do aquecimento das faces em tempo real. Os dados de temperatura foram coletados em 5 Hz durante cerca de 1500 segundos, sendo tempo suficiente para a obtenção da curva de temperatura. O cubo modificado foi devidamente testado quanto à consistência dos resultados por ele gerados, no que diz respeito à emissividade das faces pintadas, tempo de coleta de dados e ajustes finos no sistema. O produto foi aplicado na Rede de Colégios SESI Paraná, que adota a metodologia do trabalho colaborativo. A diferença de temperatura das faces Preta (interna) – Preta (externa) do cubo de Leslie modificado se mostrou cerca de 13 °C superior à face Branca (interna) – Branca (externa), enquanto que para o Cubo de Leslie tradicional a temperatura não apresentou grandes variações. A análise dos resultados permitiu aos estudantes discutir sobre temas como emissão e absorção de radiação, equilíbrio térmico, espectro eletromagnético e radiação de corpo negro. A utilização de kits de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* mostrou-se favorável em sala de aula e pode contribuir com o ensino e aprendizagem de Física Moderna no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Robótica Educacional, Física Moderna.

ABSTRACT

Experiments on absorption and emission of thermal and visible radiation with adaptation of Leslie's Cube

Educational Robotics kits are typically used in experiments on the Newtonian mechanics and for the construction of autonomous robots. Such equipments provide easy access to the programming language for students and teachers. Standard devices are servo motors and touch, ultrasound, light and temperature sensors. The work reported here analyzed the Educational Robotics, namely the integrated data acquisition facility, as a contribution for the study of Modern Physics in the High School, an area that still demands special attention for its effective implementation. Temperature sensors from the LEGO NXT Mindstorms kit were adapted in an experimental set consisting of two Leslie cubes, both made of aluminum and heated by inner incandescent lamps. The first one was a “traditional” cube, presenting two of the outer faces painted in white or black, whereas the other two faces, colorless, were mirror-like polished or abraded. The second prototype was a modified Leslie cube, which inner faces were painted in white and black alternately with respect to the outer faces, also painted with these colors. The temperature sensors, in contact with the cubes outer faces, were connected to the microprocessor and the computer in order to obtain heating plots in real time. The temperature data were collected at 5 Hz for about 1500 seconds, enough to attain heating plateaus. The consistency of results were tested accordingly, especially regarding the paints emissivities, data acquisition time and the equipment fine-tuning. The heating curves showed no significant variations in all the external faces of the traditional Leslie cube. On the other hand, noticeable differences were observed in the modified Leslie cube. The face painted in black in both sides presented the highest temperature, which, after stabilization, were 13 °C (15 %) higher than the white-white face. This result was ascribed to the absorbance of radiation in the both thermal (infrared) and visible ranges of the electromagnetic spectrum. The system was presented for regular students in the SESI School at Irati – PR, Brazil, which adopts the collaborative learning methodology. The experimental class using this system instigated and raised the students’ interest in the involved physical phenomena, allowing them to discuss advanced themes such as emissivity, thermal balance, electromagnetic spectrum, and black body radiation. In conclusion, experimental designs using automation from educational robotics kits can contribute to the improvement of the Modern Physics teaching and learning in the High School, leading new technologies to the Physics classes.

Keywords: Physics teaching, Educational Robotics, Modern Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Espectro da radiação eletromagnética.	20
Figura 2. Modelo de corpo negro.	21
Figura 3. Distribuição espectral da intensidade de radiação térmica I em função da frequência ν	23
Figura 4. <i>Automatic Binding Brick</i> . Primeira versão do brinquedo LEGO.....	39
Figura 5. Ao centro o micro controlador NXT. Acima os servos motores. Abaixo da esquerda para direita os dois sensores de toque, o sensor de cores/luz e o sensor ultrassônico.....	41
Figura 6. Sensor de Temperatura LEGO.....	42
Figura 7. Visão geral do software LEGO NXT 2.0 <i>Programming</i>	42
Figura 8. Bloco mover e visão do software NXT 2.0 <i>Programming</i>	43
Figura 9. Visão geral do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i>	44
Figura 10. Configuração do tempo do experimento em minutos ou segundos.....	44
Figura 11. Configuração do número de amostras ou tempo entre o número de amostras.....	45
Figura 12. Opções de sensores para a programação de experimentos.	45
Figura 13. Gráfico gerado pelo software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i>	46
Figura 14. Cubo de Leslie com detalhe para as faces fosca e preta.	47
Figura 15. Cubo de Leslie com detalhe para as faces polida e branca.	48
Figura 16. Detalhe na posição do filamento da lâmpada incandescente no interior do cubo.....	48
Figura 17. Vista superior do Cubo de Leslie Modificado. As cores branca, preta, amarela e cinza representam as faces branca, preta, a lâmpada incandescente disposta no centro e o interior do Cubo Metálico, respectivamente.	50
Figura 18. Tampa em alumínio para o cubo metálico.....	51
Figura 19. Detalhe da base do cubo metálico: Base feita em madeira com formato circular para o encaixe no bocal da lâmpada.	52
Figura 20. Base em madeira para a lâmpada, o cubo metálico, o NXT e os sensores de temperatura.	52
Figura 21. Cubo metálico posicionado na base de madeira.....	53

Figura 22. Cubo metálico posicionado na base de madeira.....	53
Figura 23. NXT e sensores de temperatura posicionados na base de madeira.	54
Figura 24. Materiais utilizados para a acoplar um dos sensores ao NXT e posicionar paralelamente a uma das faces do cubo metálico.....	55
Figura 25. Vista lateral do conjunto.	56
Figura 26. Cubo de Leslie presente em laboratórios de física moderna.....	60
Figura 27. Tela de trabalho do software NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando a curva de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces branca e preta do Cubo de Leslie tradicional.	61
Figura 28. Tela de trabalho do software NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces polida e fosca do Cubo de Leslie tradicional.	62
Figura 29. Pirômetro infravermelho.	64
Figura 30. Tela de trabalho do software NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Branca (externa), linha azul e Preta (interna) – Branca (externa) linha amarela do Cubo de Leslie modificado.	65
Figura 31. Tela de trabalho do software NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Preta (externa), linha azul e Preta (interna) – Preta (externa) linha amarela, para o cubo de Leslie modificado.	66
Figura 32. Temperatura em função do tempo para faces Branca (interna) – Branca (externa) referente à Tabela 1.	68
Figura 33. Temperatura em função do tempo para as faces Preta (interna) – Branca (externa) referente à Tabela 1.	69
Figura 34. Temperatura em função do tempo para as faces Branca (interna) – Preta (externa) referente à Tabela 1.	69
Figura 35. Temperatura em função do tempo para as faces Preta (interna) – Preta (externa) referente à Tabela 5.1.	70
Figura 36. Curva da variação de temperatura do cubo em relação ao tempo, dT/dt , em função do tempo, para a curva de aquecimento das faces preta (interna) e preta (externa) do Cubo de Leslie modificado, medidas com o pirômetro ótico e o sensor de temp	71

Figura 37. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a Equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Branca (interna) – Branca (externa).	73
Figura 38. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a Equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Preta (interna) – Branca (externa).....	73
Figura 39. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das Branca (interna) – Preta (externa).	74
Figura 40. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Preta (interna) – Preta (externa).....	74
Figura 41. Curvas de aquecimento para todas as faces do cubo de Leslie modificado.	76
Figura 42. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> : Aquecimento e resfriamento para as faces Preta (interna) – Preta (externa) e Branca (interna) – Preta (externa).	78
Figura 43. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> : Aquecimento e resfriamento para as faces Branca (interna) – Branca (externa) e Preta (interna) – Branca (externa).....	79
Figura 44. Aquecimento e resfriamento para das quatro faces do Cubo de Leslie modificado.	80
Figura 45. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> , com os resultados obtidos pela equipe 01: Cubo Metálico similar ao Cubo de Leslie com lâmpada de 60 W. As medidas foram realizadas nas faces Preta (interna) – Preta (externa) e Branca (interna) – Preta (externa) ao Cubo.....	83
Figura 46. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> , com os resultados obtidos pela equipe 02: Cubo I de Leslie tradicional com lâmpada de 60 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.	84
Figura 47. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> , com os resultados obtidos pela equipe 03: Cubo de Leslie tradicional com lâmpada	

de 60 W As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.
.....85

Figura 48. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging, com os resultados obtidos pela equipe 04: Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 100 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.....86

LISTAS DE TABELAS

- Tabela 1. Valores de temperatura obtidos simultaneamente nas faces do cubo de Leslie modificado, utilizando-se o pirômetro ótico e o sensor de temperatura do kit Lego. A temperatura inicial das faces T_0 , registrada antes de se ligar a lâmpada no interior do cubo.67
- Tabela 2. Valores de coeficiente angular, obtido pelo ajuste linear das curvas nas figuras 39 a 40, e emissividade ϵ face de cada face conforme Equação 5.4 para as faces do cubo de Leslie modificado externo.75

LISTA DE SIGLAS

RE	Robótica Educacional
FMC	Física Moderna Contemporânea
SESI	Serviço Social da Indústria
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
FIEPR	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais +
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
EM	Ensino Médio
ATE	Ambiente Telerobótico Educacional
MDF	Medium-Density Fiberboard
MIT	Massachusetts Institute of Technology

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	14
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
Capítulo 2: Fundamentos sobre as Teorias Físicas	18
2.1 Radiação Térmica	18
2.2. Corpo Negro.....	21
Capítulo 3: Referenciais Teóricos Educacionais.....	26
3.1. Física Moderna no Ensino Médio	27
3.2. Robótica Educacional.....	30
3.3. Teorias de Aprendizagem: Construcionismo e Construtivismo	34
3.4. Trabalho Colaborativo	36
Capítulo 4: Materiais e Metodologias	38
4.1 Utilização do kit de Robótica Educacional Lego NXT Mindstorms	38
4.2 Confeção dos Cubos Metálicos	47
4.3 Metodologia de aplicação do produto educacional em sala de aula	57
Capítulo 5: Resultados dos testes com o produto educacional	59
5.1 Resultados dos testes efetuados no Cubo de Leslie Tradicional	59
5.2 Caracterização física do Cubo de Leslie modificado.....	63
5.2.1 Sobre a consistência dos resultados produzidos	63
5.2.2 Absorção e emissão de radiação no Cubo de Leslie modificado	76
5.2.3 Comportamento do cubo de Leslie modificado após o equilíbrio térmico ...	77
Capítulo 6: Resultados.....	81
6.1 Resultados da aplicação do produto educacional em sala de aula.....	81
Capítulo 7: Conclusões.....	89
Trabalhos Futuros	91
Referências Bibliográficas	92
APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO PRÉVIO À REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO...96	
APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO POSTERIOR À REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	98
ANEXO: PRODUTO EDUCACIONAL	101

Capítulo 1: Introdução

O presente trabalho é uma análise das contribuições da Robótica Educacional para o Ensino de Física, especialmente em tópicos de Física Térmica Moderna no Ensino Médio sobre Absorção e Emissão de Radiação.

Tais tópicos em geral, ainda apresentam dificuldades para sua abordagem nesse segmento de ensino (SIAS, 2006). Muito se discute acerca da Física Moderna no Ensino Médio, embora também se observe carência em temas relacionados nos currículos oficiais, e/ou a falta de aplicação efetiva em sala de aula (OLIVEIRA, VIANNA, GERBASSI, 2007). Este trabalho traz, além da análise das contribuições da Robótica Educacional, uma proposta de aula experimental sobre Física Moderna para o Ensino Médio.

Utilizaremos o termo *Robótica Educacional* em todo trabalho, porém nenhum robô foi montado dentro dessa proposta. Entende-se aqui por *robô* qualquer construção que realize ações de forma autônoma. A Robótica Educacional permite ir muito além, pois considera-se importantes os processos de montagem, programação e excussão do experimento. Os kits Lego NXT *Mindstorms* trazem consigo uma gama de sensores programáveis e peças estruturais, os quais utilizamos para a coleta de dados do experimento realizado para a área de Física Moderna.

A execução do experimento e a elaboração dos roteiros do experimento foram realizados com auxílio do sensor programável de temperatura que faz parte do kit, de Cubos de Leslie e de um cubo metálico diferenciado, aqui denominado de Cubo de Leslie modificado. Este é, de fato, o produto educacional deste trabalho. A aplicação com os estudantes ocorreu em uma Oficina de Aprendizagem, nas quais o Trabalho Colaborativo fez parte desse processo de ensino e aprendizagem.

Em sala de aula, o experimento foi realizado com o Cubo de Leslie e com o Cubo de Leslie modificado. Com este objeto educacional, introduziu-se aos estudantes a discussão sobre emissão e absorção térmica, que inserem-se nas áreas de conhecimento sobre Radiação Térmica, espectro eletromagnético e Radiação de Corpo Negro, bem como no levantamento de curvas de aquecimento de faces pretas e brancas dos cubos de Leslie.

As curvas de aquecimento e resfriamento foram obtidas através do “log” de dados em tempo real a partir do sensor de temperatura e do micro controlador do kit

de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms*. Os estudantes trabalharam em equipes de montagem, programação, execução e discussão dos dados obtidos através da automatização dos experimentos.

As instituições de ensino que adotam o kit de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms*, como a Rede de Colégios SESI, podem também contar com o material didático fornecido pela empresa Zoom Education (ZOOM Education, 2015), totalmente direcionado a atividades com o kit. Os fascículos desse material apresentam propostas de atividades para o Ensino de Física de maneira contextualizada, em problemas sobre as áreas de Cinemática, Dinâmica, Energia e Potência, Termodinâmica, Ótica e Ondulatória (ROUXINOU, 2011).

Porém, os fascículos não trazem propostas de experimentos sobre algumas áreas como Hidrostática, Hidrodinâmica, Eletricidade e Magnetismo. Observa-se, também, que não há propostas de experimentos sobre Física Moderna e Contemporânea, limitando assim o professor de Física a realizar experimentos de Física Clássica com auxílio da Robótica Educacional.

Assim, esta proposta surgiu através da utilização dos kits Lego NXT *Mindstorms* (LEGO, 2015) disponíveis na Rede de Colégios SESI (Serviço Social da Indústria) - Paraná. Observou-se que existe a necessidade e a possibilidade de aprimoramento da utilização do kit Lego NXT *Mindstorms* nas aulas de Física para conteúdos que vão além das áreas às quais foram originalmente destinados, em especialmente em tópicos de Radiação Térmica. Esses temas são pouco explorados experimentalmente, em razão da dificuldade de acesso em termos de materiais para experimentação, tempo para a coleta de dados em tempo real e a complexidade inerente na abordagem para o Ensino Médio (SIAS, 2006).

Atualmente esse kit de Robótica Educacional é amplamente empregado no ensino e aprendizagem de Ciências Exatas, inclusive na Física. Muitos autores (CINCELLI, 2011; CHURCH, 2010; YNOGUTI, 2012; ROUXINOL, 2011) utilizam desse material como ferramenta para o ensino e aprendizagem de ciências. Os autores salientam suas potencialidades como, por exemplo, a facilidade da montagem e programação, aproximação de teorias físicas com a experimentos reais, interação entre os estudantes e o material didático e a interdisciplinaridade.

A vantagem da utilização de experimentos automatizados em sala de aula é a possibilidade de coletar e analisar dados em tempo real. Os sensores utilizados foram

ligados à central de processamento de dados, o NXT, que fez a transposição dos mesmos para o *software* NXT 2.0 *Data Logging* no computador, gerando gráficos com os valores da temperatura, emitida pelas faces do Cubo de Leslie modificado e pelo Cubo de Leslie tradicional.

O desenvolvimento e execução do Produto desta dissertação foram realizados na Rede de Colégios SESI, na Unidade de Irati – PR, durante as aulas de Física para o Ensino Médio em uma das cinco Oficinas de Aprendizagem, com alunos da faixa etária de 14 aos 16 anos em regime interseriado. A rede é conhecida por adotar uma metodologia diferenciada frente às outras instituições, com a presença do trabalho colaborativo em todas disciplinas e momentos pedagógicos do dia a dia do Colégio.

A Unidade de Irati - PR conta com materiais de apoio para o Ensino de Física, e com 11 unidades dos kits de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* (LEGO, 2015). Sua infraestrutura possui um laboratório de Ciências, no qual as aulas práticas foram desenvolvidas, um laboratório de informática, uma quadra poliesportiva, seis salas de aula e uma biblioteca, bem como espaços da área administrativa das casas SESI (Serviço Social da Indústria), SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) e IEL (Instituto Euvaldo Lodi) pertencentes ao Sistema FIEPR (Federação das Indústrias do Estado do Paraná).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

- Desenvolver Textos Didáticos e protótipos sobre experimentos automatizados, para as áreas de Absorção e Emissão de Radiação Térmica voltadas para o Ensino Médio, utilizando kits de Robótica Educacional. Este material será o Produto Educacional apresentado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar como a Robótica Educacional, pode contribuir com o Ensino da Física Moderna;
- Desenvolver um aparato experimental, utilizando o kit de Robótica “Lego NXT *Mindstorms*” para estudo de Radiação Térmica e Radiação de Corpo Negro;
- Desenvolver um material didático que possa ser utilizado como Roteiro de Montagem e Discussão dos experimentos automatizados.

Capítulo 2: Fundamentos sobre as Teorias Físicas

Neste capítulo, aborda-se os fundamentos dos fenômenos investigados no Produto Didático deste Projeto, que se constitui em um Cubo de Leslie modificado, bem como aqueles que serviram para seu desenvolvimento e caracterização.

Os conceitos gerais de radiação eletromagnética e, em especial, de radiação térmica serão discutidos com base na sua interação com superfícies e o subsequente aumento de temperatura e emissão de radiação na faixa do infravermelho. Destaca-se que o conhecimento da emissividade dos materiais foi imprescindível para os testes de qualidade do produto, ainda na fase de sua construção.

2.1 Radiação Térmica

Todo corpo com temperatura diferente de zero absoluto emite radiação. Quanto maior a sua temperatura, maior será essa taxa de emissão, por isso a chamamos de *Radiação Térmica*. O equilíbrio térmico dos corpos está relacionado à taxa de radiação que um corpo absorve e emite. Quando essas taxas são iguais, dizemos que o corpo está em equilíbrio térmico (NUSSENZVEIG, 1998).

Ao contrário de outros processos de transferência de calor, como a condução e a convecção, a radiação térmica não necessita de um meio material para sua propagação. A energia transferida depende da diferença entre as temperaturas elevadas à quarta potência (como será discutido adiante). Assim, para temperaturas maiores, essa taxa de transferência de energia é mais elevada (BETZ, 2016).

De modo simples, pode-se afirmar que a radiação térmica origina-se da aceleração das cargas elétricas no interior dos corpos. Em sólidos, a temperatura está relacionada a vibrações de átomos em suas posições na estrutura cristalina do material. Os fótons emitidos ou absorvidos têm energia igual às diferenças de energia nas transições entre estados permitidos de vibração, previstos pela Mecânica Quântica. Essas transições são do tipo dipolo elétrico, e a *aceleração* dessas cargas relaciona-se à emissão de radiação térmica (TIPLER, 2010).

O termo radiação é designado para processos de transferência de energia através de ondas eletromagnéticas e assim utilizada como sinônimo para o termo

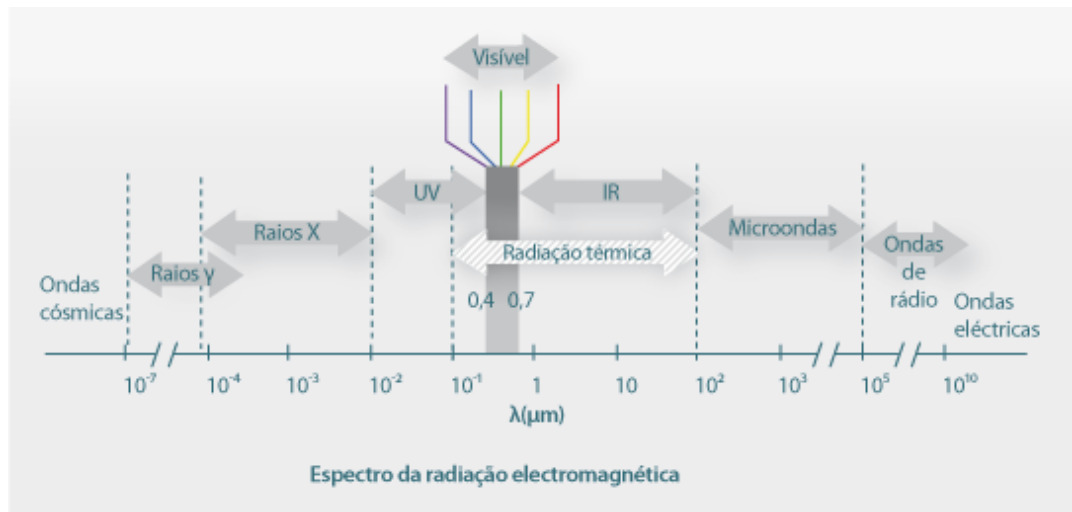
onda eletromagnética. Por exemplo, pode-se afirmar que uma lâmpada incandescente emite radiação eletromagnética e, com a mesma palavra, pode-se afirmar que a transferência de energia ocorre por radiação (LABVIRUTAL, 2016).

O descobrimento da existência de ondas eletromagnéticas é um capítulo muito interessante da história do conhecimento. No trabalho de J. C. Maxwell na segunda metade do século XIX, não apenas se descobriu que a luz é um fenômeno eletromagnético, mas que outras formas de ondas eletromagnéticas deveriam existir.

Anos mais tarde, em 1887, estimulado por tais previsões, H. Hertz demonstrou experimentalmente a existência dessas ondas, produzindo ondas de rádio. A utilidade tecnológica desse fenômeno foi prontamente vislumbrada. Até o final do século XIX a transmissão de voz via rádio já havia se desenvolvido consideravelmente. As tecnologias subsequentes, que dispensam apresentações, transformaram o estilo e a qualidade de vida da civilização no século XX (GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, 2016).

Graças aos avanços científicos nas primeiras décadas do século XX, sabe-se que as diferentes “radiações” percebidas são manifestações do mesmo fenômeno eletromagnético, diferenciadas pelo comprimento de onda. É usual dividir o espectro eletromagnético (Figura 1) em faixas com comprimentos de onda e frequências definidas a cada tipo de onda eletromagnética. Pode-se situar também a radiação térmica no intervalo que compreende 10^{-1} μm a 10^2 μm para o comprimento de onda (LABVIRUTAL, 2016).

Figura 1. Espectro da radiação eletromagnética.



Fonte: Disponível em:

<http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422>

Observa-se que a radiação visível está dentro do intervalo do comprimento de onda da radiação térmica, ou seja, é possível atribuir uma temperatura para essa faixa de espectro. Em 1800, o astrónomo William Herschel mediu a temperatura correspondente a cada cor do espectro, com auxílio de termómetros e um prisma, percebendo que a temperatura aumentava à medida que o termómetro aproximava-se do vermelho e até mesmo depois na região escura. Esta região é correspondente à radiação infravermelha (MICHA, 2011).

A radiação térmica tem grande relevância no estudo introdutório da Física Moderna. O espectro da radiação emitida por um sólido aquecido, como é o caso de uma barra de metal incandescente, varia com a sua temperatura. A radiação visível, situada em geral no ápice do espectro contínuo, passa de uma cor avermelhada e vai se tornando mais esbranquiçada à medida que a temperatura se eleva, ou seja, o ponto de máximo migra para comprimentos de onda menores e a frequência para valores maiores com o aumento da temperatura do corpo sólido (TIPLER, 2010).

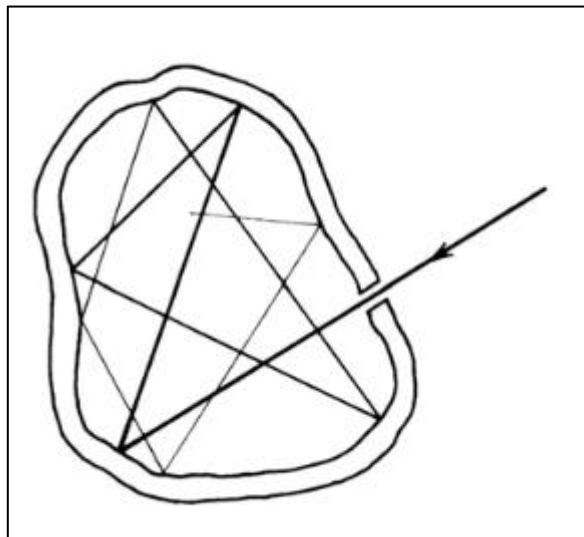
No início do século XX, a incompatibilidade entre os resultados previstos pela Física Clássica e aqueles obtidos experimentalmente em laboratório para corpos aquecidos estimulou a busca de novas teorias, as quais levaram ao conceito primordial de quantização de energia, como será discutido a seguir.

2.2. Corpo Negro

É comum associar um corpo negro a um corpo pintado de cor preta que absorve toda luz incidente sobre ele. Esta definição é uma aproximação, pois o corpo negro é, por definição, um corpo que absorve toda radiação nele incidente, ou seja, toda a faixa do espectro eletromagnético, e que não é capaz de refletir essa radiação (MEDEIROS, 2010). Todavia, é interessante que um exemplo real para tal situação é a fuligem (ou negro de fumo, que é carvão amorfo), encontrada em chaminés (HEWITT, 2002).

Considerando-se um pequeno orifício em uma cavidade (Figura 2), a radiação que nele entra dificilmente sairá. Assim é possível considerar uma concavidade com um orifício como sendo um corpo negro, pois toda radiação nele incidente será absorvida. Um *absorvedor* eficiente é também bom *emissor* de radiação, conceito proveniente da Lei de Kirchhoff que diz respeito ao equilíbrio térmico (BAHIANA, 2016). Assim, quando aquecida, a cavidade emite energia radiante em um espectro (ou seja, uma distribuição de intensidades em função da frequência da radiação) típico de um corpo negro.

Figura 2. Modelo de corpo negro.



Fonte: BAHIANA (2016).

Desse modo, no estudo das radiações, considera-se o problema do irradiador ideal por meio do estudo do absorvedor ideal. Em teoria, essa radiação entra pelo orifício e permanece aprisionada, sofrendo infinitas reflexões dentro da cavidade.

No equilíbrio térmico, a emissão de radiação e é igual a absorção a (NOVO, 2014).

$$e = a \quad (2.1)$$

Ou ainda:

$$\frac{e}{a} = 1 \quad (2.2)$$

Considerando-se dois corpos em equilíbrio térmico entre si, sendo um deles um irradiador ideal – corpo negro (1), e outro não ideal (2), tem-se:

$$\frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = 1 \quad (2.3)$$

Tratando-se de um corpo negro (1), sua absorção é maior se comparada ao outro corpo que não é negro (2).

$$a_1 > a_2 \quad (2.4)$$

E também:

$$e_1 > e_2 \quad (2.5)$$

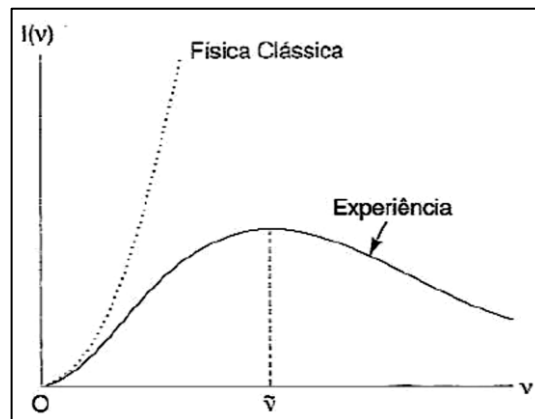
Ou seja, corpos negros são melhores absorvedores e emissores de radiação. A absorptividade a é igual a 1 ($a = 1$) e sua refletividade r para um corpo negro é nula ($r = 0$), daí sua denominação (BAHIANA, 2016).

Rayleigh e Jeans desenvolveram, em 1877, a teoria da radiação de corpo negro com base nos avanços da Física no século XIX, em especial a teoria atômica,

o eletromagnetismo de Maxwell, a estatística de Maxwell-Boltzmann e os experimentos em espectroscopia de Kirchhoff e Bunsen (NUSSENZVEIG, 1998).

A Figura 3 representa a distribuição espectral da radiação térmica prevista na teoria Clássica, de Rayleigh-Jeans, e aquela obtida experimentalmente, correlacionando a intensidade (I) em função da frequência (ν).

Figura 3. Distribuição espectral da intensidade de radiação térmica I em função da frequência ν .



Fonte: NUSSENZVEIG, 1998.

O modelo de Rayleigh e Jeans previa que a potência irradiada pelo corpo negro depende do quadrado da frequência da radiação, representado na Figura 3 como a curva prevista pela Física Clássica. Assim, embora o resultado concorde bem com frequências baixas, para frequências altas a equação obtida com base na teoria Clássica sugeria que a intensidade de energia emitida seria infinita. Esse efeito é chamado de “Catástrofe Ultravioleta”, pois o ponto de divergência está nessa faixa do espectro eletromagnético (NUSSENZVEIG, 1998).

Com o objetivo de sanar a incompatibilidade entre a teoria Clássica e os resultados experimentais, em 1900 Max Planck apresentou um modelo sobre a emissão de energia por um corpo negro, no qual introduziu a ideia de *quantização de energia*. De acordo com a proposta de Planck, a emissão de radiação não poderia ser considerada contínua, mas como se ocorresse em quantidades definidas de absorção/emissão instantânea, ou pacotes de energia, denominados de *quanta* (TIPLER, 2010).

Essa energia emitida em pacotes é diretamente proporcional à frequência da radiação ν :

$$E = h\nu \quad (2.6)$$

Onde $h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$ é a constante de proporcionalidade encontrada por Planck, e que leva seu nome.

Planck propôs a seguinte equação para a emissão espectral do corpo negro (TIPLER, 2010):

$$I_\lambda = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (2.7)$$

Onde c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann. Esta equação, conhecida como equação de Planck da Emitância Espectral, permite calcular a contribuição no espectro emitido à temperatura T para qualquer comprimento de onda λ . Nota-se que a emitância espectral é maior para corpos mais quentes, para qualquer comprimento de onda.

O valor de máxima emissão ocorre quando a derivada da Equação 2.7 em relação a λ for igual a 0:

$$\frac{dI_\lambda}{d\lambda} = 0; \lambda_{max} = \frac{\omega}{T} \quad (2.8)$$

Essa solução já havia sido empiricamente proposta por Wien, em 1893, e $\omega = 2,9.10^3 m.K$ é chamada de constante de Wien (TIPLER, 2010). A equação de Planck se ajusta adequadamente aos resultados experimentais mostrados na Figura 3, embora, inicialmente, ele tenha considerado que a quantização era meramente um “artifício inconveniente”. Em 1905, A. Einstein demonstrou que a quantização da radiação visível é o fenômeno que explica o efeito fotoelétrico (MEDEIROS, 2010).

A solução encontrada por Planck tornou-se um marco divisório entre a Física Clássica e a Física Moderna. A constante de Planck está presente nos mais diversos fenômenos microscópicos, desde as equações que descrevem a arquitetura de núcleos, átomos e moléculas, até o incipiente campo da quantização nos fenômenos biológicos.

Para se obter a emissão total de um corpo, soma-se as emitâncias em todos comprimentos de onda, tomando a integral correspondente à área abaixo da curva de distribuição espectral:

$$I = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda \quad (2.9)$$

A solução da equação (2.9) é conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, que, quando aplicada ao corpo negro, fornece a intensidade total de energia da radiação emitida I em função da temperatura da cavidade T .

$$I = \sigma T^4 \quad (2.10)$$

Onde $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann. Sendo I a potência irradiada P por unidade de área A , a equação de Stefan-Boltzmann pode ser escrita como.

$$P = \sigma \varepsilon A T^4 \quad (2.11)$$

Onde ε é a emissividade, que é igual à unidade para o corpo negro. Outros objetos irradiam mais lentamente, de modo que $0 < \varepsilon < 1$. Nesses casos, a emissão de radiação térmica depende de outros fatores tais como a cor e a composição da superfície, embora ela não dependa da temperatura (TIPLER, 2010).

Capítulo 3: Referenciais Teóricos Educacionais

Pode-se considerar, como teorias de aprendizagem, quaisquer abordagens relacionadas ao ensino e aprendizagem como as que serão apresentadas neste capítulo. Serão abordadas a teoria epistemológica Construtivista de Jean Piaget e a teoria educacional do Construcionismo de Seymour Papert e suas relações com a temática deste trabalho, a Robótica Educacional.

Antes, porém, serão apresentadas questões referentes aos problemas de ensino e aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, a concepção de alguns autores de livros didáticos adotados como material didático no Ensino Médio, e o que os documentos oficiais falam a respeito dessa área da Física. Serão apresentadas também as ideias acerca do Trabalho Colaborativo, metodologia adotada pela Rede de Colégios SESI Paraná, onde este projeto foi desenvolvido.

3.1. Física Moderna no Ensino Médio

Historicamente, é comum dividir a Física em três etapas: clássica, moderna e contemporânea. A primeira refere-se aos trabalhos de mecânica de Copérnico, Galileu e Newton até os trabalhos sobre eletromagnetismo, no século XIX.

A segunda contempla as teorias surgidas no início do século XX, a partir de trabalhos sobre radiação de corpo negro e mecânica quântica de Planck aos trabalhos sobre relatividade de Einstein.

Na terceira etapa, onde se iniciaram estudos de escala nuclear, iniciou-se a partir da Segunda Guerra Mundial e está atrelada ao desenvolvimento da tecnologia (DOMINGUINI, 2012).

Este trabalho, devido ao estudo sobre Radiação Térmica e Radiação de Corpo Negro, fará referências às duas últimas etapas da história da física. Porém, para efeitos de compreensão dentro da temática do ensino e aprendizagem e de outros documentos oficiais utilizados como referência, ambas serão denominadas com o termo *Física Moderna Contemporânea* (FMC).

A física tem contribuído de forma significativa nas últimas décadas aos avanços tecnológicos. Observa-se o surgimento de novas tecnologias em diversas áreas do conhecimento, como na medicina e nas engenharias, graças à evolução do conhecimento em Física. Os estudantes do Ensino Médio trazem essas questões para dentro de sala de aula, contudo observa-se que o conteúdo programático presente no Ensino Médio (EM), particularmente da Física, não acompanha tais avanços (OLIVEIRA, 2007).

Nota-se uma lacuna muito grande entre o que é ministrado neste segmento de ensino e os temas que tem despertado o interesse do aluno, cada vez mais atento a questões levantadas pela mídia sobre descobertas científicas e tecnológicas no Brasil e no mundo.

Analisando a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) (BRASIL, 1996), observa-se em seu artigo 35, parágrafo IV, que uma das finalidades da etapa final da educação básica, o ensino médio, é “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina”. Finalidade esta facilmente abordada em tópicos referentes ao funcionamento de artefatos tecnológicos pela FMC no Ensino Médio.

No mesmo documento, o artigo 36 cita que o ensino médio “destacará a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura “(...) e que, ao final do processo, o educando “demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”. Novamente nota-se a importância da inserção da FMC em sala de aula no segmento do Ensino Médio.

A FMC também é citada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que orienta a elaboração de currículos para diferentes etapas de escolarização, como parte integrante da unidade curricular de número cinco sobre Matéria e Radiações – Constituição e Interações (BRASIL, 2016. p. 590). Nota-se a importância da abordagem da FMC no Ensino Médio como fundamental para o entendimento da construção do saber científico e tecnológico.

Dentro do tema estruturador Matéria e Radiação, presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) (BRASIL, 2002, p. 70), considera-se que tópicos sobre Física Moderna são indispensáveis para que educandos adquiram a compreensão sobre a constituição da matéria e da tecnologia presentes em utensílios tecnológicos. Indica-se que o tema é “capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico”.

No mesmo documento apresentam-se as Unidades Temáticas para o ensino e aprendizagem da Física, em especial sobre a FMC dentro do tópico Matéria e Radiação. Salienta-se a importância da sistematização dos diferentes tipos de radiação dentro do espectro eletromagnético e a sua utilização por meio de “tecnologias à elas associadas”.

A maior parte dessas questões pode ser inserida dentro do tópico sobre FMC no currículo atual do EM, a partir do estudo das radiações, radiação de corpo negro, fissão e fusão nucleares, relatividade ou efeito fotoelétrico, etc. Entretanto, eles não são abordados devido uma série de fatores como o tempo insuficiente do conteúdo curricular, processos seletivos como o vestibular, falta de materiais de apoio, instrumentalização e até mesmo a preparação de professores para esse fim em cursos de licenciatura (SILVA, SOUZA, 2013).

Salienta-se também alguns problemas como, por exemplo, a pouca ênfase na literatura voltada para a FMC. Alguns livros didáticos destinados para o Ensino Médio (PENTEADO, et. al. 2005; SAMPAIO, et. al. 2005 apud DOMINGUINI, 2012) trazem

esses temas ao final do volume destinado ao terceiro ano, com foco nos conceitos mais relevantes ao entendimento da ciência e tecnologia contemporânea. Tópicos sobre FMC são até mesmo inexistentes em alguns livros para o Ensino Médio (GASPAR, 2005. apud DOMINGUINI, 2012) o que leva o professor a trabalhar outros conceitos antes da FMC ou até mesmo excluí-los de seu planejamento.

A experimentação em sala de aula é também um problema comum ao ensino de Física. Os professores relatam dificuldades para elaborar atividades práticas em temas tradicionais como mecânica e cinemática, para os quais, em comparação à Física Moderna e Contemporânea, existem mais propostas experimentais na literatura. Isso é observável nos livros voltados para o Ensino Médio, que trazem poucas opções para realização de atividades experimentais sobre Física Moderna (da SILVA e de SOUZA, 2013).

Apesar de tais dificuldades, a legislação está correta ao exigir a abordagem da FMC no Ensino Médio, pois sua inserção entre o rol de conhecimentos da Educação Básica é essencial para o entendimento dos avanços científicos e tecnológicos que ocorrem e, que são vivenciados pela sociedade. Um exemplo é a utilização da tecnologia robótica em várias áreas como medicina, agricultura e manufatura. Decorre, então, a necessidade de se investir na preparação profissional dos educadores, na facilitação do ensino com métodos e materiais inovadores de aprendizagem, e em leis de incentivo à educação a fim de promover a eficiência do processo de formação humana.

A relação da FMC com a tecnologia robótica se dá devido a avanços ocorridos desde o início do Século XX que causaram impacto no sistema de produção, intensificando o modelo de produção em massa, utilizando como facilitadores as máquinas e robôs automatizados (FERREIRA, 2005).

Alguns dos conceitos que devem ser abordados em aulas de Física, como o efeito fotoelétrico, espectro eletromagnético, absorção e emissão de luz e radiação, transistores e circuitos integrados, e até mesmo o ultrassom, constituem na base de funcionamento de sistemas automatizados, mecânicos ou eletrônicos, que estão cada vez mais presentes na sociedade, bem como no dia-a-dia dos estudantes.

3.2. Robótica Educacional

A robótica é uma tecnologia que, a cada dia mostra-se mais presente na sociedade contemporânea. É possível observar robôs como facilitadores do trabalho humano em vários ambientes, tais como em desarmamento de bombas e minas, inspeção de cabos telefônicos submarinos, consertos em usinas nucleares, exploração espacial (BRASILESCOLA, 2016) e até mesmo na indústria. Ela traz muitas facilidades, rapidez e redução de custos e desperdício em processos de produção.

De modo geral, essas novas tecnologias exigem conhecimentos de seus usuários, pois ela influencia não apenas os processos de produção em grande escala, mas a forma de vida contemporânea das pessoas. Essa nova demanda devido à tecnologia exige dos trabalhadores uma atitude mais ativa e flexível. Não se pode esperar que um profissional seja inerte e reprodutor, mas que mostre-se participativo e inovador em qualquer área de trabalho.

Cabe a escola desenvolver essas competências e habilidades que são exigidas pela sociedade em geral. A Robótica Educacional (RE) e a Física Moderna Contemporânea (FMC) se tornam aliadas nesse processo.

Segundo Ferreira (2005):

Em busca de formar pessoas para atender a essas demandas, a robótica educacional tem sido um dos ambientes pesquisados e implementados nas universidades e escolas, com objetivos cada vez mais amplos, a fim de possibilitar aos alunos o desenvolvimento dessas competências. Esse ambiente de aprendizagem tem sido cada vez mais reconhecido pelo campo da educação (FERREIRA, 2005, p.8).

Além de propiciar o desenvolvimento de diversas competências e habilidades, a tecnologia robótica é utilizada até mesmo no ensino de ciências como facilitadora do processo de ensino e aprendizagem, Rouxinou (2011) destaca que:

A robótica no ensino de ciências é uma área nova, até mesmo no cenário internacional, constituindo-se um vasto campo para ser explorado em sua plenitude. Essa tecnologia é comumente utilizada em disciplinas de computação, engenharia e mecatrônica. No entanto, pesquisas recentes

revelam grande potencial de seu uso também fora desse contexto, principalmente no ensino de ciências (ROUXINOU, 2011, p. 2).

Atualmente, o uso de Tecnologias de Comunicação e Informação (TIC), que eram utilizados em cursos técnicos de formação de mão-de-obra especializada, são incorporadas gradativamente no processo de ensino e aprendizagem em outros segmentos educacionais, como por exemplo no Ensino Médio, como mediadora desse processo, pois é um instrumento didático poderoso para facilitar o aprendizado em ciências.

A Robótica Educacional se difere da Robótica Industrial nos seus objetivos. Segundo Ferreira (2005):

A robótica educacional ou robótica pedagógica tem como principal meta proporcionar um ambiente de aprendizagem, que tem objetivos totalmente diferentes dos da robótica industrial, que, em níveis técnico-industriais, são mais específicos (FERREIRA, 2005, p. 8).

Essa especificidade da RE está no processo de ensino e aprendizagem. Ela é utilizada como mediadora em diversas áreas do saber, como por exemplo entre Física, Matemática, Automação e Programação. Essa relação se dá por meio do diálogo e do Trabalho Colaborativo, pois os estudantes trabalham em grupos para responder a desafios ou problemas em diversas áreas.

Além de desenvolver competências relacionais, os estudantes também necessitam desenvolver capacidades cognitivas dentro das diversas áreas do saber. No caso da disciplina de Física, a Robótica Educacional permite uma relação mais estreita entre os modelos, conceitos e teorias, permitindo ao estudante uma melhor visualização e entendimento dos mesmos. Segundo D'Abreu (2005):

Educacionalmente, os aprendizes necessitam ter oportunidades de trabalhar com modelos, conceitos e teorias que permitam a construção de significados. Em particular, os aprendizes necessitam aprender argumentar, questionar, construir significados usar recursos e representações de informação que suportem seu diálogo e colaboração do grupo. A construção destes ambientes colaborativos de aprendizagem propicia ao aprendiz a oportunidades de fazer parte de comunidades onde se exercita a prática e o discurso científico (D'ABREU, 2005, p. 340).

Além de mediadora do processo de ensino e aprendizagem, a utilização da RE em aulas de Física para o Ensino Médio apresenta uma vantagem adicional. Ela pode ser um fator de motivação para os estudantes, que normalmente encontram dificuldades para o aprendizado de ciências exatas e matemática. Sobre tais dificuldades, Souza (2013) afirma:

Considerando que para os alunos no geral, ensino de ciências exatas é algo traumático, estes colocam obstáculos a si próprios quanto a estas disciplinas. Contudo, para muitos alunos, realmente estas disciplinas são um tanto abstratas, para que consigam acompanhar o desenvolvimento dos conceitos, por isso se faz necessário que as disciplinas como física e matemática sejam trabalhadas de maneira a trazer os conteúdos para realidade dos alunos motivando-os para o estudo destas disciplinas. (SOUZA, 2013, p. 1)

Não se deve utilizar os recursos da RE sem um propósito em sala de aula. Ela deve estar acompanhada pelo desenvolvimento de um projeto de aprendizagem, preferencialmente multidisciplinar. A robótica proporciona a busca de informações em diversos meios, como livros ou internet, para a solução de problemas e o desenvolvimento de projetos. O processo de seleção dessas informações se constitui em uma oportunidade para que os conhecimentos de diversas áreas se tornem significativos e concretos. Esse exercício desenvolve competências mais abrangentes que aquelas desenvolvidas em aulas meramente expositivas.

Analisando os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2000, p.5) nota-se a ênfase no assunto que tange à utilização da tecnologia. Segundo esse documento, a formação do aluno deve ter como alvos principais “a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação”.

Considerando que a utilização da robótica em sala de aula é capaz de desenvolver tais capacidades, bem como “de pesquisar, buscar informações, analisar e selecionar cada uma delas, a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização” (BRASIL, 2000, p. 5).

Portanto, a utilização da RE em sala de aula no Ensino Médio se torna também uma ferramenta para o Ensino de Física, já que vários tópicos dessa disciplina podem ser abordados com auxílio da RE e colocados em prática por meio da execução de projetos de aprendizagem.

Como veremos adiante, a Robótica Educacional está fundamentada na teoria do Construcionismo, que busca estimular os estudantes para o desenvolvimento e execução de projetos a partir da resolução de problemas. Hepp (2013) destaca que:

A robótica educacional encontra seus principais fundamentos nas teorias de aprendizagem construcionista. A teoria construcionista originou-se do construtivismo e foi desenvolvida pela equipe de Seymour Papert no MIT (Papert y Harel, 1991). No marco desta teoria, busca estimular o potencial criativo e expressivo através da comunicação de projetos significativos, da resolução de problemas (estratégias de resolução) e o pensamento lógico, o trabalho e aprendizagem grupais em equipe, aprendendo a respeitar, negociar decisões, desenvolver a autoestima, planejar tarefas em conjunto e levar a cabo o desenvolvimento de conteúdos escolares específicos tais como a quantificação, sequências, ordem, magnitudes, tamanhos, figuras geométricas, trajetórias, habilidades motoras finas e grossas (HEPP, 2013, p. 78).

Atualmente encontra-se uma gama de *kit's* de robótica educacional no mercado, desde os chamados “*opensource*”, como a plataforma *Arduíno* (ARDUINO, 2016) a *kit's* comerciais como o Lego (LEGO, 2014), o qual será abordado no capítulo 3, o *Modelix* (MODELIX, 2016) e o *Alpha* (PETE, 2016), assim como outros recursos como ambientes virtuais que propiciam a aplicação dos conhecimentos científicos através da utilização da Robótica Educacional de maneira remota denominada Ambiente Telerobótico Educacional (ATE).

3.3. Teorias de Aprendizagem: Construcionismo e Construtivismo

As teorias de aprendizagem do Construcionismo e o Construtivismo são a base da fundamentação teórica da Robótica Educacional e possuem uma relação direta entre si. Seymour Papert, idealizador da teoria do Construcionismo, utilizou os resultados da teoria epistemológica Construtivista de Jean Piaget e os conceitos sobre Inteligência Artificial que eram desenvolvidos no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) para elaborar sua teoria educacional.

Piaget (PIAGET, 2006) considera em sua teoria que o sujeito é agente de sua aprendizagem. Assim as pessoas constroem seu conhecimento formulando hipóteses a partir da interação com objetos ou artefatos tecnológicos, em um processo denominado assimilação, e sofrem uma ação deste reacomodando informações que, para o sujeito, possuam significados por um processo denominado acomodação.

Nessa teoria, considera-se que o conhecimento se dá devido a interação entre objeto e sujeito, excluindo-se a interação social. Segundo Valente (1993):

[...] Piaget conclui que a criança desenvolve a sua capacidade intelectual interagindo com objetos do ambiente onde ela vive e utilizando o seu mecanismo de aprendizagem. Isto acontece sem que a criança seja explicitamente ensinada. É claro que outros conceitos também podem ser adquiridos através do mesmo processo (VALENTE, 1993, p. 13).

Papert acreditava que crianças em idade escolar também eram capazes de trabalhar com programações. Deste modo, ele criou a linguagem de programação *Logo*. Nesse tipo de programação, o aprendiz deve utilizar conceitos de matemática para elaborar jogos, figuras e simulações (RIPPER, 1993).

Em parceria com a empresa dinamarquesa Lego, Papert introduziu elementos de robótica como sensores, motores e engrenagens nos tradicionais blocos de montar, o *System of Play* (ZOOM EDUCATION, 2016), possibilitando o controle dinâmico dos elementos robóticos escritos através da linguagem de programação Logo (CYSNEIROS, 1999).

A teoria de Papert (PAPERT, 1994) assume que o ato de construir um produto ou objeto de conhecimento possibilita a elaboração de conceitos, a partir da interação

com o objeto de conhecimento, que posteriormente se tornarão produtos mais sofisticados.

Segundo Ferreira (2005):

Papert é um precursor na valorização do uso de tecnologias na educação, e uma de suas hipóteses é a de que crianças que, de acordo com o construtivismo, ainda não se encontravam no estágio de desenvolvimento operatório formal, poderiam abstrair conhecimentos por meio de simulações concretas possibilitadas pelo computador (FERREIRA, 2005, p. 13).

Diferentemente de Piaget, ele afirma que a construção do conhecimento se dá também através da interação social entre os sujeitos e a interação entre os sujeitos e artefatos tecnológicos. Ferreira (2005) destaca que:

A robótica proporciona esse espaço, por promover em diversos aspectos o desenvolvimento pela interação e, em outros momentos, pela tomada de consciência individual, sendo que, por mais que os pensamentos sejam internos e muitas vezes individuais, com toda certeza já sofreram uma influência social anterior que dará condições para que o indivíduo resolva o problema ou, se não conseguir resolver, pelo menos dará condições de buscar outras estratégias que o leve a novas informações para solucionar o problema sobre o qual se defronta (FERREIRA, 2005, p. 12).

Diferentemente do Construtivismo de Piaget, a teoria do Construcionismo de Papert não exclui o processo de aprendizagem devido à interação social entre os sujeitos. Assim, a teoria do Construcionismo propõe que o ato de ensinar consiste em criar situações nas quais os estudantes alimentem este processo de aprendizagem com a construção e solução de problemas concretos e trabalho em equipe. E mais, o aprendizado ocorre quando o estudante gosta, discute, pensa e apresenta o que acerca do que produziu (FERREIRA, 2005, p. 12). Essa concepção de ensino e aprendizagem reflete mudanças no paradigma tradicional de ensino, em que o aluno é o responsável por sua aprendizagem. Assim vemos inspiração para muitas outras teorias de aprendizagem moderna, como as que serão abordadas na próxima seção, e que fundamentam o ambiente de trabalho onde esta pesquisa foi desenvolvida.

3.4. Trabalho Colaborativo

A prática pedagógica do campo de pesquisa deste trabalho se concretiza por meio de Oficinas de Aprendizagem, uma forma diferenciada na qual a dinâmica em sala de aula pode acontecer, em relação ao processo de ensino-aprendizagem. Esta metodologia foi criada por Márcia Conceição Rigon, em 1996 e adotada pela rede de Colégios Sesi Paraná em 2005 (SESI, 2008).

As Oficinas de Aprendizagem dão importância não apenas à aquisição de conhecimentos e conteúdo, mas também a participação efetiva do estudante nesse processo. Assim, ele é responsável por sua própria aprendizagem no que diz respeito à escolha da Oficina de Aprendizagem, e do controle de conteúdo de cada disciplina que estão relacionados ao desafio da mesma.

O desafio de cada Oficina de Aprendizagem consiste em um objetivo interdisciplinar de estudo, que cada disciplina terá como foco durante o período pré-determinado. Nesse processo, todos os estudantes caminham para chegar à resposta deste objetivo, também chamado de “desafio”, e tem como fundamentação teórica, os conhecimentos de toda grade de disciplinas e o estudo feito em cima desse objeto de estudo.

A diferença entre Projetos de Trabalho e as Oficinas de Aprendizagem está no fato de que, nesta última, promove-se a interdisciplinaridade na solução do desafio, ao passo que, na primeira, as disciplinas convergem sobre um único tema. A interdisciplinaridade, segundo Saviani (2003) é indispensável para a implantação de um processo inteligente de construção do currículo de sala de aula – informal, realístico e integrado. Através da interdisciplinaridade, o conhecimento evolui de algo setorizado para um conhecimento integrado, onde as disciplinas científicas interagem entre si.

As Oficinas de Aprendizagem, segundo Miquelin (2008),

[...] são constituídas como estruturas flexíveis, em torno de um desafio central, contextualizado num tema, com modo de funcionamento semelhante a uma rede de significados. Essa rede não prioriza disciplinas, mas, sim, a natureza de um problema que na verdade é interdisciplinar e real, sem caráter artificial. Sendo uma rede, ela leva os sujeitos a criarem e interpretarem múltiplas soluções, e não a

encontrarem uma solução predeterminada (a questão que possui uma única resposta não constitui um problema). (MIQUELIN, 2008, p.96)

A metodologia da Rede de Colégios Sesi Paraná (SESI, 2008) exige também a criação de uma Teia ou Rede de Conhecimento que contemple as relações entre as disciplinas, o desafio a ser respondido em cada Oficina de Aprendizagem, bem como as competências que serão desenvolvidas pelos estudantes.

Para isso, o professor deve sair de sua posição tradicional, atuando como mediador. O professor levanta questões, concordando ou discordando com soluções encontradas pelos estudantes, direciona pesquisas e roteiros de estudos e junto aos alunos, constrói uma síntese em resposta ao Desafio da Oficina de Aprendizagem. Seu papel mais desafiador está em se adaptar ao conhecimento prévio dos alunos e nortear o trabalho nesse sentido, sem deixar de lado o formalismo científico. Segundo Demo (2005):

Transformar a sala de aula em local de trabalho conjunto, não de aula, e uma empreitada desafiadora, porque significa, desde logo, não privilegiar o professor, mas o aluno, como aliás, querem as teorias modernas. Este deve poder se movimentar, comunicar-se, organizar seu trabalho, buscar formas diferentes de participação, a par de também precisar de silêncio, disciplina, atenção nos momentos adequados (...). (DEMO, 2005, p.17-18).

Essa prática do Trabalho Colaborativo em aulas experimentais de Física, que utilizem a Robótica Educacional para a montagem, programação, execução e análise dos resultados, torna-se facilitadora do processo de ensino e aprendizagem. Os autores discutidos aqui, em especial Papert (1994) e Piaget (2006), salientam que a prática em grupo favorece a construção do conhecimento pelos alunos de forma concreta e significativa.

Nota-se que as teorias de aprendizagem do construcionismo de Papert e construtivismo de Piaget convergem dentro dessa proposta metodológica de ensino e aprendizagem, bem como a Robótica Educacional que incentiva os estudantes a trabalharem em equipes na solução de problemas ou desafios de aprendizagem. Na concepção desse trabalho, acredita-se que esses fatores são facilitadores do ensino de Física Moderna Contemporânea no Ensino Médio.

Capítulo 4: Materiais e Metodologias

Neste capítulo serão abordados os materiais utilizados para a elaboração do produto deste mestrado profissional em Ensino de Física. Na primeira seção serão abordados tópicos referentes ao kit de Robótica Educacional, seus principais componentes como o micro controlador NXT, o funcionamento dos sensores de toque, luz, ultrassom, rotação e temperatura.

A visão geral dos *softwares* NXT 2.0 *Programming* e NXT 2.0 *Data Logging* também será apresentada para o entendimento das configurações do experimento realizado para Emissão e Absorção Térmicas e Radiação de Corpo Negro e será abordada como se deu a construção dos cubos metálicos, a tampa para evitar perdas de calor por convecção, o tratamento das faces, a base de suporte para a lâmpada incandescente, NXT e sensores de temperatura.

4.1 Utilização do kit de Robótica Educacional Lego NXT Mindstorms

A LEGO® surgiu em 1932 na Dinamarca, fundada por Ole Kirk Christiansen, que no início fabricava brinquedos de madeira. Em poucos anos teve a sua produção aumentada e passou a produzir cerca de duzentos tipos diferentes de brinquedos, inclusive de plástico. Em 1934 a empresa foi batizada com o nome utilizado até hoje. Sua versão mais antiga foi criada em 1949 e nominada *Automatic Binding Brick* (Figura 4), que fazia referência a sistemas automáticos de encaixe. Em 1955, o sistema de brincar chamado *System of Play* permitia várias combinações de encaixe com as peças. Este sistema promoveu uma revolução na produção e comercialização de brinquedos (ZOOM EDUCATION, 2016).

Figura 4. *Automatic Binding Brick*. Primeira versão do brinquedo LEGO.



Fonte: <http://zoom.education/sobre-a-zoom/nossa-historia>

O grupo *LEGO* possui uma divisão educacional chamada *LEGO Dacta* desde 1980, que desenvolveu o kit de Robótica Educacional *Lego NXT Mindstorms* em 1998 como resultado de uma parceria entre o *Media Lab* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), no qual Seymour Papert teve participação direta. Papert acreditava que crianças também poderiam trabalhar com programações para computadores e desenvolveu uma linguagem intuitiva de programação em blocos chamada de linguagem Logo (CYSNEIROS, 1999).

O Kit é acompanhado de diversas peças de encaixe como barras, conectores e engrenagens, bem como sensores e servos motores conforme se observa na Figura 5. Ao todo são cinco tipos de sensores, sendo dois de toque, um sensor ultrassônico, um sensor de som, um de luz/cor e três servos motores.

Os sensores de toque se constituem em um botão sem travamento como um interruptor que pode ser pressionado, tocado ou liberado. É possível acionar ou parar uma programação a partir da acoplagem deste sensor a um robô ou um experimento. O NXT faz a leitura do código 0, quando o sensor não está liberado e 1, quando o sensor está pressionado.

O sensor ultrassônico pode ser associado aos olhos de um robô, pois ele identifica a presença de objetos sem a necessidade de contato direto. É capaz de detectar um objeto e medir sua proximidade em polegadas ou centímetros. Ele pode medir distâncias de 0 a 2,5 metros com uma precisão de ± 3 centímetros (NXT USER

GUIDE, 2016). Objetos sólidos e grandes fornecem uma leitura mais acurada se comparados a objetos pequenos, de tecido ou muito finos. O sensor funciona com base na incidência e reflexão de ondas sonoras da faixa do ultrassom e o micro controlador NXT mede o tempo entre a emissão e a reflexão da onda sonora e calculando a distância ao objeto.

O sensor de som detecta a intensidade sonora em decibéis (dB). As leituras deste sensor são mostradas em porcentagem [%] de som que o sensor é capaz de ler. Ele pode medir até cerca de 90 dB para uma distância de até 1 metro da fonte sonora ao sensor.

O sensor de luz permite o robô distinguir entre claro e escuro e ler as intensidades de luz de superfícies coloridas. Ele expressa os valores em porcentagem [%] e pode medir os valores para a luz ambiente e para a luz refletida por objetos. Este sensor pode ser conectado ao NXT para que um robô execute ações como seguir, parar ou voltar ao encontrar uma linha com intensidade de luz refletida com certo valor pré-estabelecido.

Os servos motores, além de possibilitarem o movimento de robôs, possuem um sensor de rotação embutido que tornam esses movimentos muito precisos através da variação angular de um tacômetro acoplado ao servo motor. Esse sensor de rotação embutido mede as rotações em graus com precisão de ± 1 grau. O NXT lê os dados deste sensor em rotações utilizando a escala “R” para uma rotação completa.

Figura 5. Ao centro o micro controlador NXT. Acima os servos motores. Abaixo da esquerda para direita os dois sensores de toque, o sensor de cores/luz e o sensor ultrassônico.



Fonte: Imagem disponível em: <http://www.microgenios.com/?11.57.0.0,546,lego%AE-mindstorms%AE-8547-nxt-2.0-robo-educacional-lego-lancamento-no-brasil!.html>

O microcontrolador NXT processa os comandos programados por um microcomputador através dos *softwares Lego NXT 2.0 Programming* e *Lego NXT 2.0 Data Logging* conectados via USB. Com esse kit é possível a montagem e programação de robôs com noções de distância, sensíveis a sons e cores capazes de executar movimentos com grande precisão (SILVA, 2011).

O kit *Lego Mindstorms NXT* possui algumas características citadas abaixo:

- 256 kbytes de memória FLASH;
- 64 kbytes de memória RAM;
- um microcontrolador ARM7 de 32 bits;
- 4 portas para *input* de dados;
- 3 portas para *output* de dados;
- 1 entrada para conexão USB;
- comunicação wireless via Bluetooth.

O sensor de temperatura (Figura 6) é uma peça extra do kit de Robótica Educacional *Lego NXT Mindstorms*, que deve ser adquirido separadamente. É um sensor digital, alimentado pelo bloco NXT que pode ser calibrado nas escalas Celsius e Fahrenheit, medindo temperaturas nos intervalos de -20 °C a 120 °C e -4 °F a 248 °F (ZOOM EDUCATION, 2016).

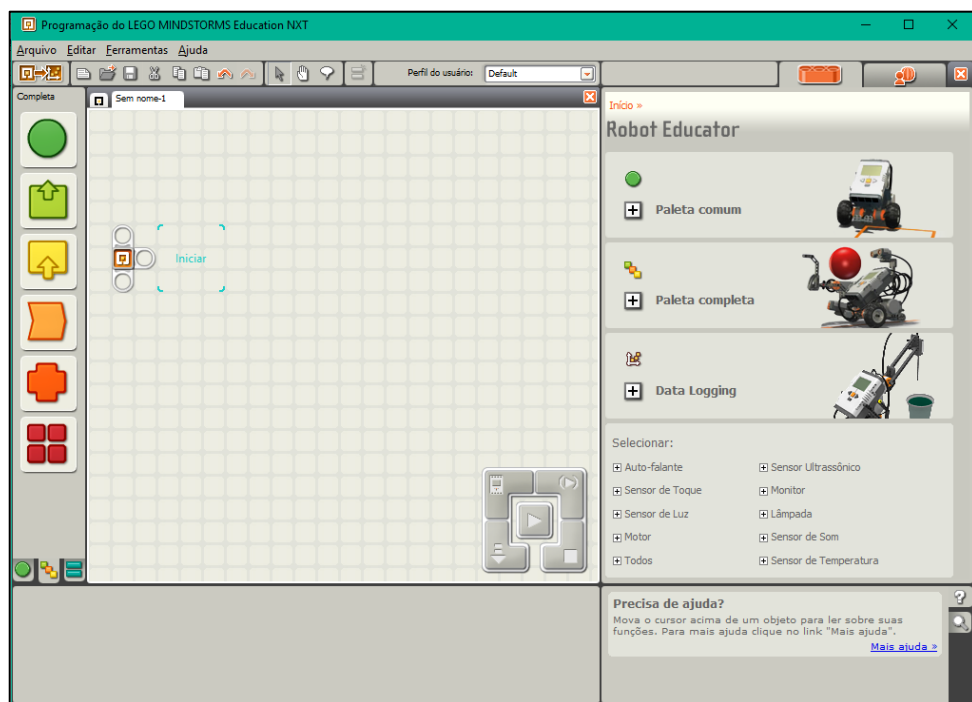
Figura 6. Sensor de Temperatura LEGO.



Fonte: <http://zoom.education/produtos/sensor-temperatura-nxt>

O software *Lego NXT 2.0 Programming*, mostrado na Figura 7, permite a programação de robôs através de blocos de função, e o software *Lego NXT 2.0 Data Logging* (Figura 9) permite a coleta de dados através dos sensores programáveis.

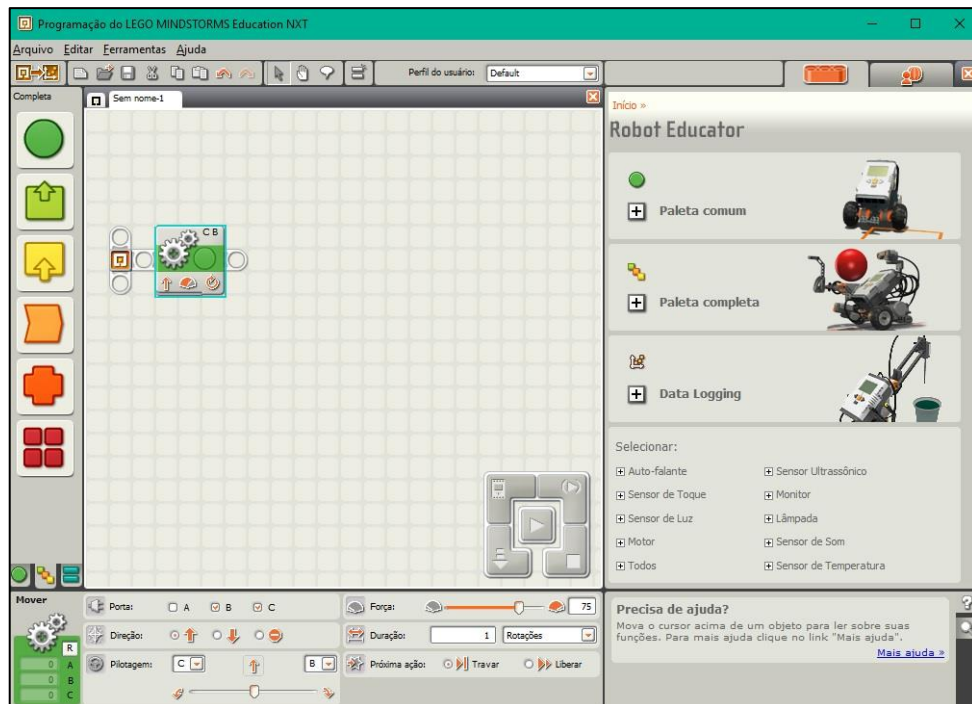
Figura 7. Visão geral do software LEGO NXT 2.0 Programming.



Fonte: o autor

Dentro de cada opção na paleta completa (barra lateral esquerda na Figura 7), encontra-se vários blocos programáveis, como por exemplo os de ação, sensores, fluxo, tratamento de dados e variáveis e conexão *bluetooth*. A Figura 8 mostra, como exemplo, o bloco “mover”.

Figura 8. Bloco mover e visão do software NXT 2.0 *Programming*.

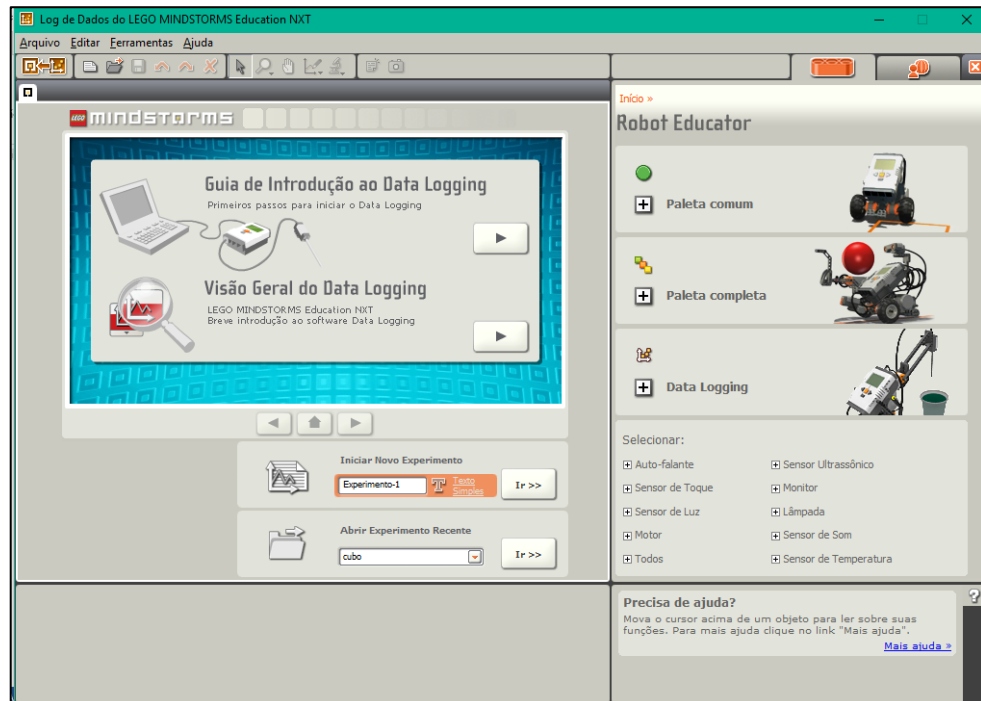


Fonte: o autor.

É possível observar na parte inferior da Figura 8 uma barra de controle de dados associada ao bloco selecionado, na qual é possível modificar as variáveis como força, duração, pilotagem e direção, e também a escolha das portas de entrada (*input*), as quais receberão os servos motores. O mesmo ocorre para outros blocos de programação como os de movimento, sensores condição, *loop*, tratamento de dados e variáveis e conexão *bluetooth*.

Ao selecionar a opção *Log de Dados*, que aparece sob a opção “Arquivos” no software NXT 2.0 *Programming*, acessa-se o software *Lego NXT 2.0 Data Logging*. Com este software é possível programar os sensores através das portas 1, 2, 3 e 4, indicadas na Figura 5, para a entrada de dados.

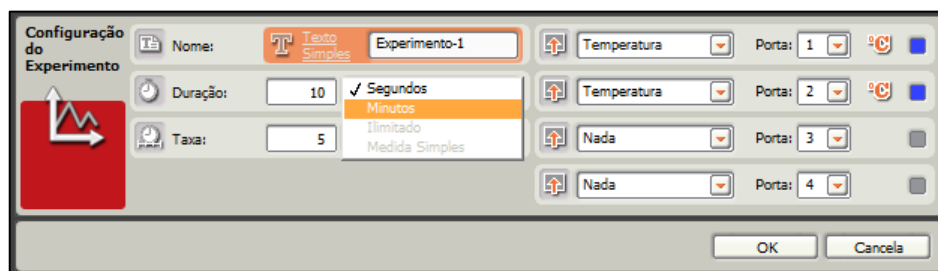
Figura 9. Visão geral do software Lego NXT 2.0 Data Logging.



Fonte: o autor.

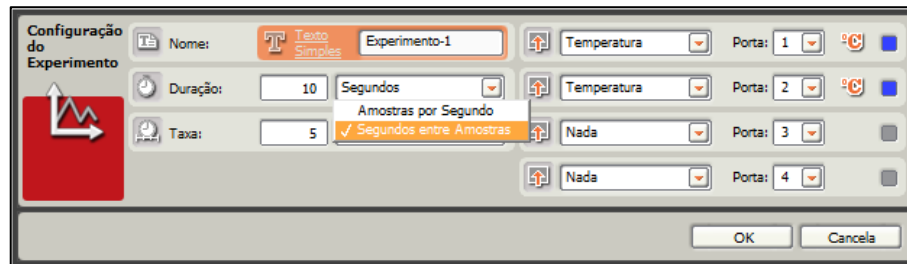
O Lego NXT 2.0 *Data Logging* permite o controle de experimentos a partir do tempo de duração (Figura 10), medido em minutos ou segundos, taxa de coleta de amostras que se pode configurar para cinco amostras por segundo ou cinco segundos entre cada amostra (Figura 11), e o tipo do sensor utilizado (Figura 12).

Figura 10. Configuração do tempo do experimento em minutos ou segundos.



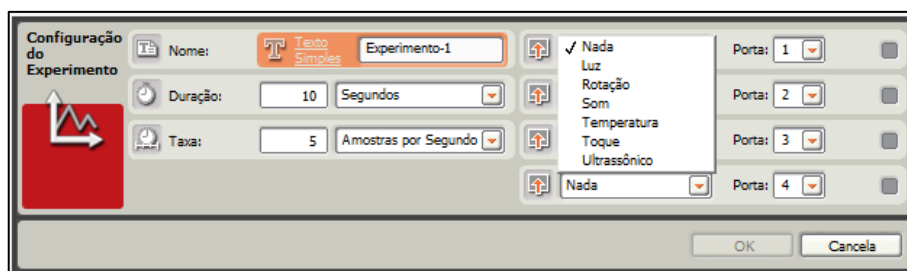
Fonte: o autor.

Figura 11. Configuração do número de amostras ou tempo entre o número de amostras.



Fonte: o autor.

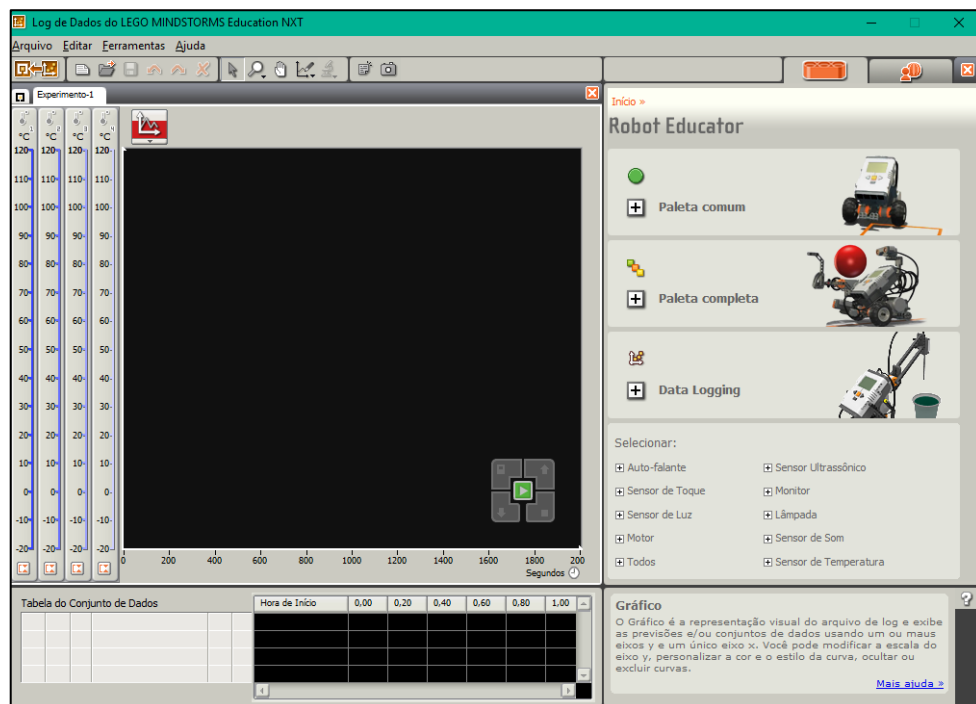
Figura 12. Opções de sensores para a programação de experimentos.



Fonte: o autor.

Como resultado, o *software* gera uma curva dos dados provenientes dos sensores em função do tempo programado (Figura 13). O exemplo da Figura 13 apresenta a programação simultânea de quatro sensores de temperatura, operando nos limites já citados de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ em função de um tempo aleatório de 2000 segundos.

Figura 13. Gráfico gerado pelo software Lego NXT 2.0 Data Logging.



Fonte: o autor.

Segundo Rouxinou (2011),

[...] a tomada de dados em tempo real, bem como seu arquivamento e posterior processamento, faz com que esse recurso seja um forte aliado no desenvolvimento de atividades experimentais investigativas e de caráter exploratório. A coleta de dados pelo aluno pode ser feita por meio do uso de sensores específicos de acordo com o que se deseja saber ou explorar. Dependendo do tipo de sensor e/ou kit de robótica com que se trabalha, esses dados podem ser enviados diretamente dos sensores para o computador ou ser direcionados para um módulo de processamento (ROUXINOL, 2011, p. 3).

O software *Lego NXT 2.0 Data Logging* possui ferramentas de previsão e análise, no qual é possível determinar a função da curva obtida no experimento e fazer o ajuste linear, mostrando valores máximos e mínimos. Outrossim, é possível criar capturas de tela e salvar os dados em formato de texto para análises posteriores. Neste trabalho, os resultados obtidos foram exportados para o formato de texto (*.txt), para posterior manipulação em *softwares* de criação de gráficos.

4.2 Confeção dos Cubos Metálicos

Para o estudo da Emissão e Absorção Térmica propostas neste trabalho, bem como da Radiação de Corpo Negro, desenvolveu-se dois tipos de cubos metálicos ao longo do processo de testes do produto educacional, sendo que ambos foram empregados de modo complementar na prática pedagógica. No primeiro tipo, os sensores de temperatura do kit de Robótica Educacional foram empregados para se efetuar as medidas de temperatura em faces branca, preta, polida e fosca através de contato, em um Cubo de Leslie tradicional (Figuras 14 e 15).

Figura 14. Cubo de Leslie com detalhe para as faces fosca e preta.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 15. Cubo de Leslie com detalhe para as faces polida e branca.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Um cuidado com relação a lâmpada foi tomado para que o filamento ficasse paralelo às faces em que seriam realizadas as medidas de temperatura para que a radiação que incide sobre cada face fosse aproximadamente de mesma intensidade (Figura 16).

Figura 16. Detalhe na posição do filamento da lâmpada incandescente no interior do cubo.

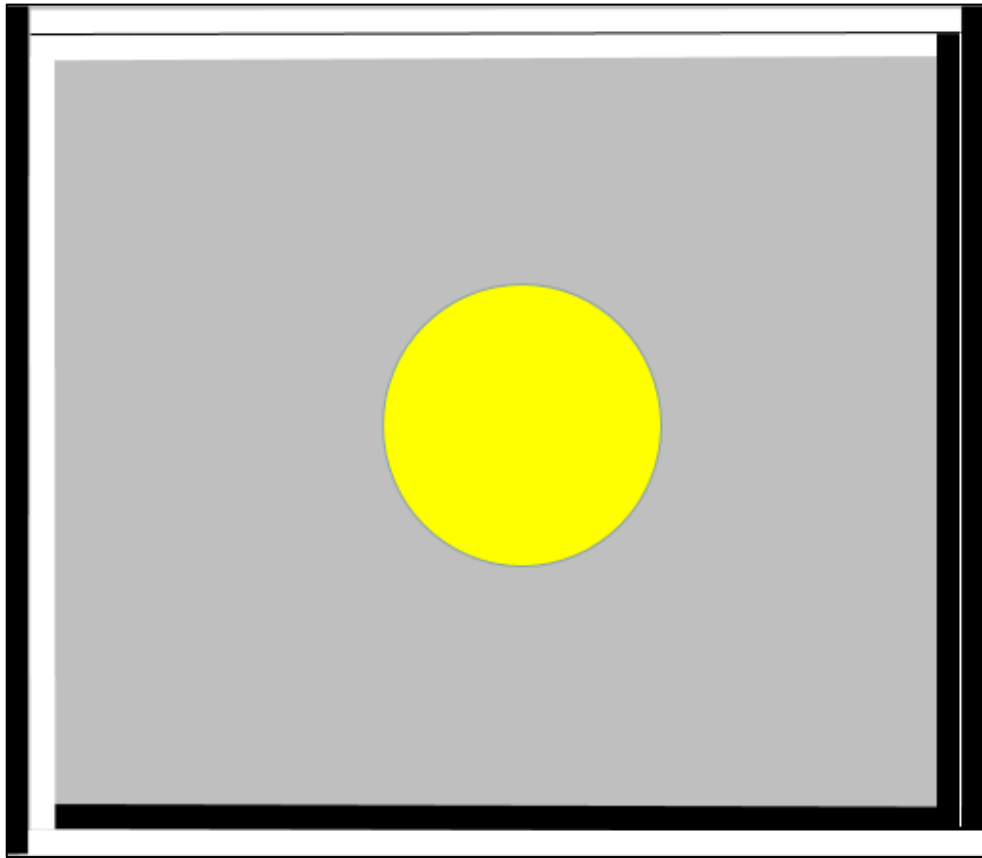


Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

O Cubo de Leslie modificado apresenta tanto as faces internas quanto externas pintadas, de modo que a análise e medidas de temperatura permite observar variações tanto na absorção como na emissão de radiação, além de se avançar em temas de física térmica, como no conceito de emissividade e corpo negro.

A nova configuração do Cubo Metálico apresentou faces brancas e pretas pintadas interna e externamente do seguinte modo: preta (interna) e branca (externa), preta (interna) e preta (externa), branca (interna) e preta (externa) e finalmente branca (interna) e branca (externa), como apresentado no esquema da vista superior do Cubo Metálico, Figura 17.

Figura 17. Vista superior do Cubo de Leslie Modificado. As cores branca, preta, amarela e cinza representam as faces branca, preta, a lâmpada incandescente disposta no centro e o interior do Cubo Metálico, respectivamente.



Fonte: o autor

Com a adaptação do Cubo de Leslie, foi possível verificar uma diferença considerável de temperatura entre as faces nos primeiros momentos de aquecimento, quando comparadas aos resultados obtidos com o Cubo tradicional. Sugere-se que tal diferença ocorre devido a contribuição visível da radiação emitida pela lâmpada incandescente em seu interior, como será discutido no Capítulo 2 sobre os temas de Radiação de Corpo Negro, Emissividade e Absorção de Radiação Térmica.

Ambos os cubos foram construídos de forma artesanal com chapas de alumínio com espessura 2 mm, e pintados a tinta automotiva resistente à altas temperaturas nas cores branca e preta, exceto em faces polidas e foscas do Cubo de Leslie tradicional, as quais tiveram um tratamento diferenciado.

No cubo de Leslie tradicional, a face polida foi preparada por meio de polimento metalográfico com Pasta de Diamante em suspensão com diâmetro de partículas 9 μm (Arotec 9u) e Lubrificante Azul. O polimento dessa face foi executado até que se

notasse um brilho se comparado com a outra face que não recebeu tal tratamento. Para a face fosca, não foi realizado nenhum tratamento específico, ou seja, conservou-se a condição da chapa advinda da usinagem.

Os cubos metálicos receberam tampas elaboradas com o mesmo material, para se evitar perdas de calor por convecção (Figura 18), bem como um suporte de madeira (MDF) para acomodar o microprocessador NXT e os sensores de temperatura.

Figura 18. Tapa em alumínio para o cubo metálico.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

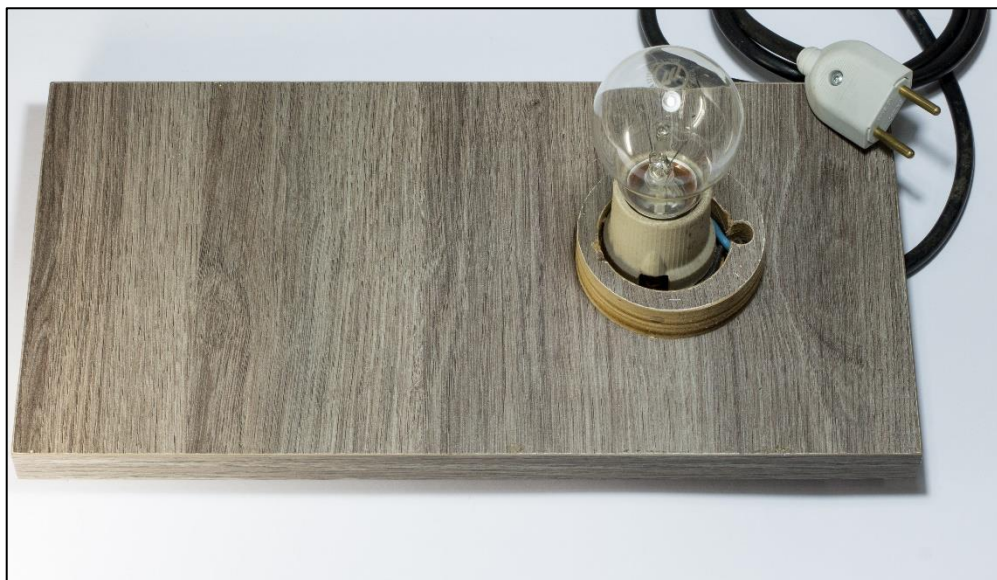
As bases dos cubos foram construídas em madeira com formato circular (Figura 19) para o encaixe no bocal da lâmpada incandescente, preso a base do conjunto (Figura 20). Um fio condutor foi ligado ao bocal para alimentar a lâmpada.

Figura 19. Detalhe da base do cubo metálico: Base feita em madeira com formato circular para o encaixe no bocal da lâmpada.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 20. Base em madeira para a lâmpada, o cubo metálico, o NXT e os sensores de temperatura.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

As Figuras 21, 22 e 23 mostram, respectivamente, um dos cubos metálicos em sua base, com e sem a tampa de alumínio e o posicionamento do NXT e dois sensores

de temperatura acoplados para a medida simultânea da temperatura de faces paralelas.

Figura 21. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



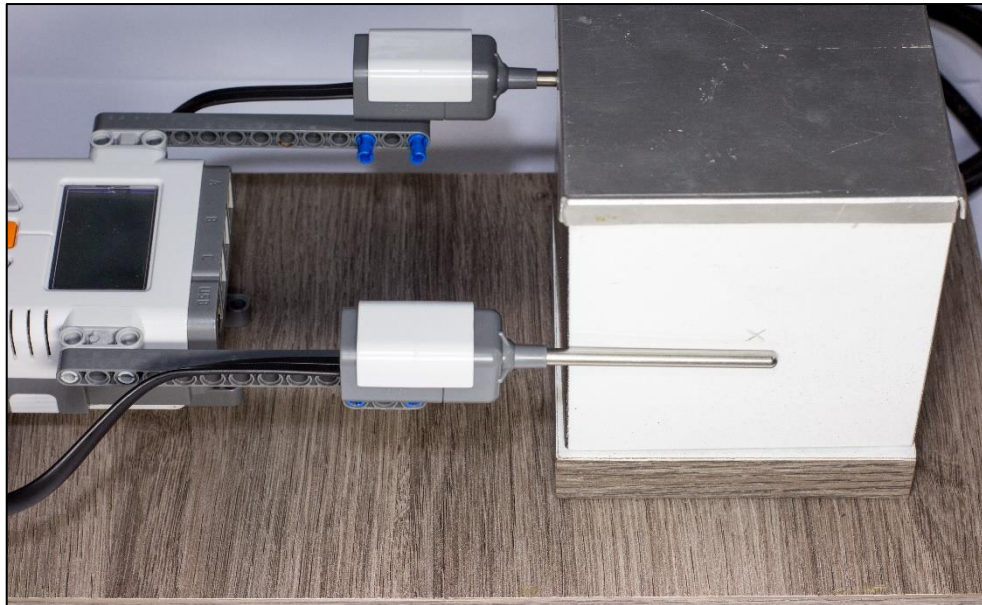
Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 22. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

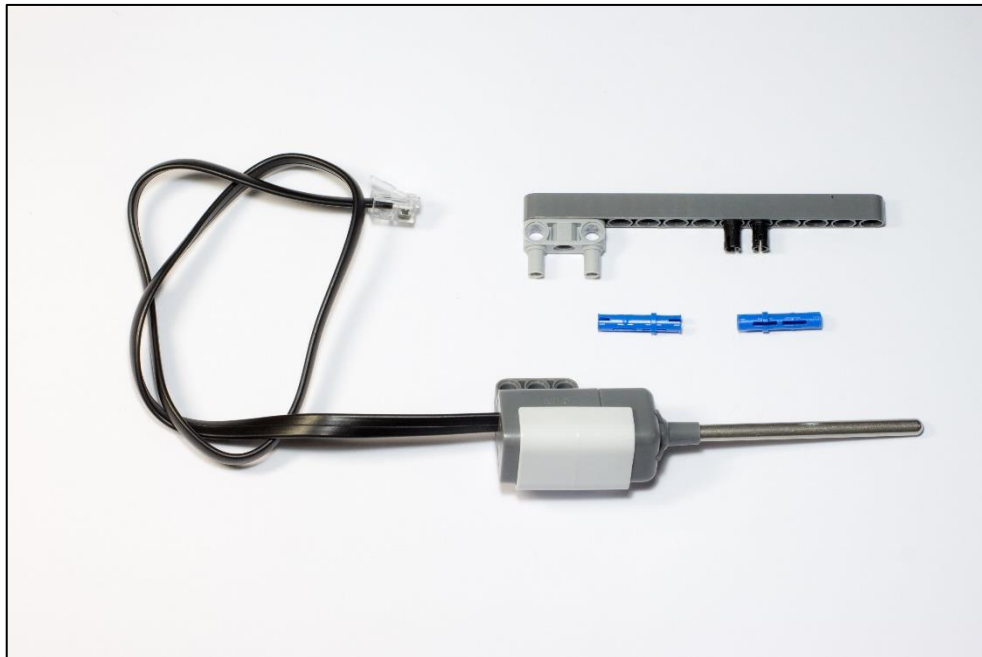
Figura 23. NXT e sensores de temperatura posicionados na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Para a montagem dos sensores de temperatura no NXT, utilizou-se uma barra de 11 unidades Lego (sistema de medida próprio da marca), dois conectores e um adaptador, mostrados na Figura 24.

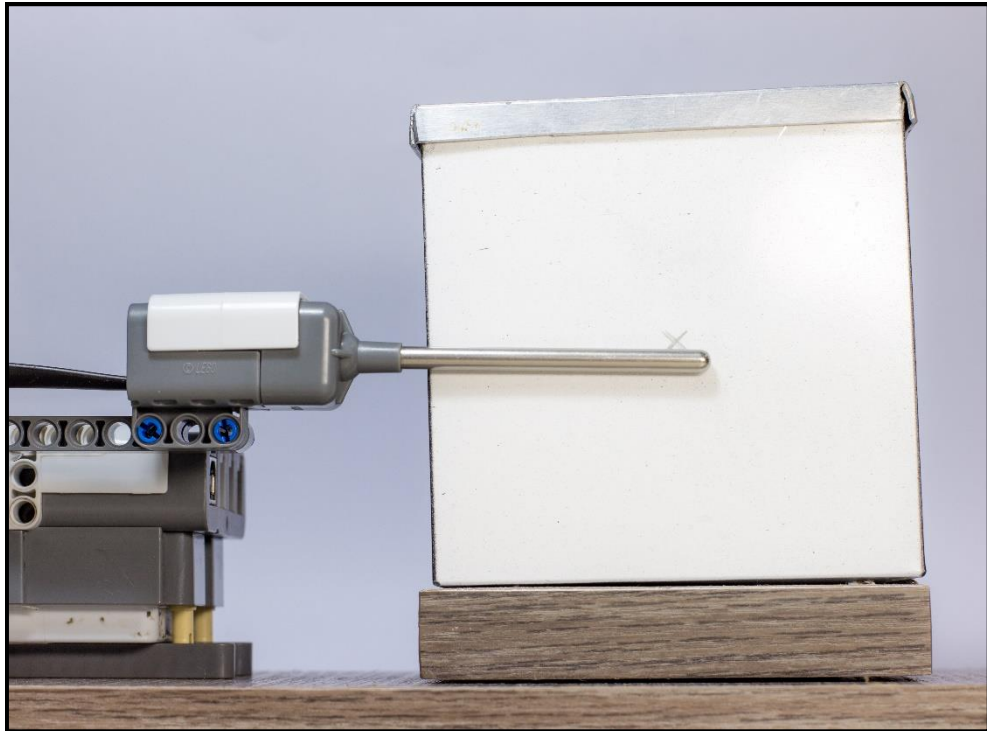
Figura 24. Materiais utilizados para a acoplar um dos sensores ao NXT e posicionar paralelamente a uma das faces do cubo metálico.



Fotografia: G. B. de Souza

Por fim, a Figura 25 mostra a vista lateral do conjunto com a base, cubo metálico, NXT e sensores. Nota-se que com as peças do kit Lego permite a regulagem de altura do NXT para que o sensor de temperatura fique posicionado aproximadamente a metade da altura do cubo metálico.

Figura 25. Vista lateral do conjunto.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

4.3 Metodologia de aplicação do produto educacional em sala de aula

O produto educacional deste trabalho foi aplicado nas aulas de Física do Colégio SESI Irati, durante o quarto bimestre de 2015 em uma Oficina de Aprendizagem chamada “*Harry Potter*”, na qual o conteúdo trabalhado em Física era Termodinâmica. Esse conteúdo foi determinado pelo Colégio, devido à necessidade de se abordar esse tema, que neste caso, não fazia relação com o desafio e temática da oficina.

Para a introdução ao tópico sobre Radiação Térmica e Radiação de Corpo Negro, aplicou-se à turma um questionário inicial (Apêndice 1) para a investigação das concepções iniciais dos alunos sobre Radiação Térmica, suas formas de transferência e qual é a sensação térmica que temos quando encostamos em corpos pintados de preto e branco expostos ao Sol.

Na sequência, os alunos montaram o conjunto experimental dos Cubos Metálicos, NXT e sensores de temperatura. Nesta etapa, eles foram orientados para que os sensores fossem colocados em contato com as faces do cubo de modo que sua leitura fosse mais precisa, com menor dissipação de calor.

Uma das equipes de trabalho ficou com o cubo pintado com as faces internas e outras três equipes com cubos de Leslie tradicionais. Durante a aplicação do projeto, as equipes que trabalharam com o Cubo de Leslie tradicional não sabiam que havia um cubo com faces pintadas internamente, dessa forma, elas puderam levantar hipóteses sobre os resultados encontrados pela equipe que utilizou este material, que foram diferentes das demais. As hipóteses sobre o gráfico que seria gerado pelos cubos foram levantadas antes do início da atividade experimental.

Na aula seguinte, as equipes trabalharam na programação e execução do experimento. O tempo escolhido foi de 2000 segundos e as medidas foram realizadas para as faces branca e preta para os cubos de Leslie tradicional e Branca (interna) – Preta (externa) e Preta (interna) – Preta (externa) para o cubo metálico similar ao cubo de Leslie. Um pirômetro foi utilizado para o acompanhamento da temperatura dos cubos simultaneamente ao sensor de temperatura.

A terceira e última aula foi utilizada para a comparação dos resultados obtidos pelas equipes. Os gráficos, construídos com o software NXT 2.0 *Data Logging*, foram

salvos e apresentados pelo professor com um projetor, onde todo o grupo pode discutir as semelhanças e diferenças entre os resultados. Temas tais como equilíbrio térmico, absorção e emissão de radiação e radiação de corpo foram discutidos nessa aula. A comparação dos conceitos construídos pelos alunos a partir da realização da atividade se deu pela comparação qualitativa das respostas obtidas em um questionário final (Apêndice 2).

Capítulo 5: Resultados dos testes com o produto educacional

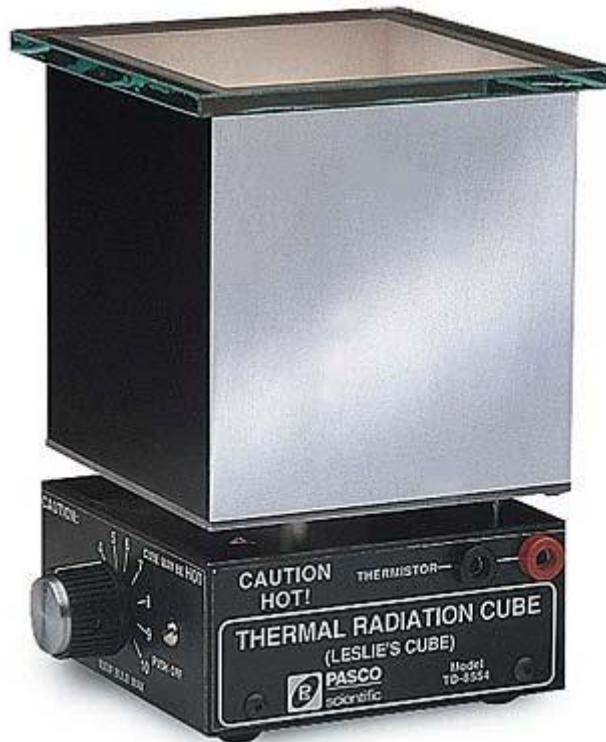
Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes de controle e de utilização realizados para o Cubo de Leslie e para o Cubo de Leslie modificado, que são os produtos educacionais desenvolvidos neste projeto.

Inicia-se com a integração do sistema NTX da Lego ao cubo de Leslie tradicional. Em seguida, apresenta-se os resultados para o aquecimento e emissividade das faces do Cubo Metálico similar ao Cubo de Leslie, com as faces pintadas interna e externamente de branco e preto de forma alternada.

5.1 Resultados dos testes efetuados no Cubo de Leslie Tradicional

O primeiro cubo construído para o estudo da radiação de corpo negro neste trabalho foi um cubo de Leslie Tradicional, com quatro de suas faces externas apresentado diferentes condições de preparação: fosca (lixada), polida de modo especular, e pintadas de branco e preto. Este equipamento, bastante comum em laboratórios de física moderna (Figura 26), permite observar diferentes taxas de emissão de radiação infravermelha (com auxílio de sensores de infravermelho, como pilhas termoelétricas) oriundas de faces que estão em equilíbrio térmico (PASCO, 2016).

Figura 26. Cubo de Leslie presente em laboratórios de física moderna.

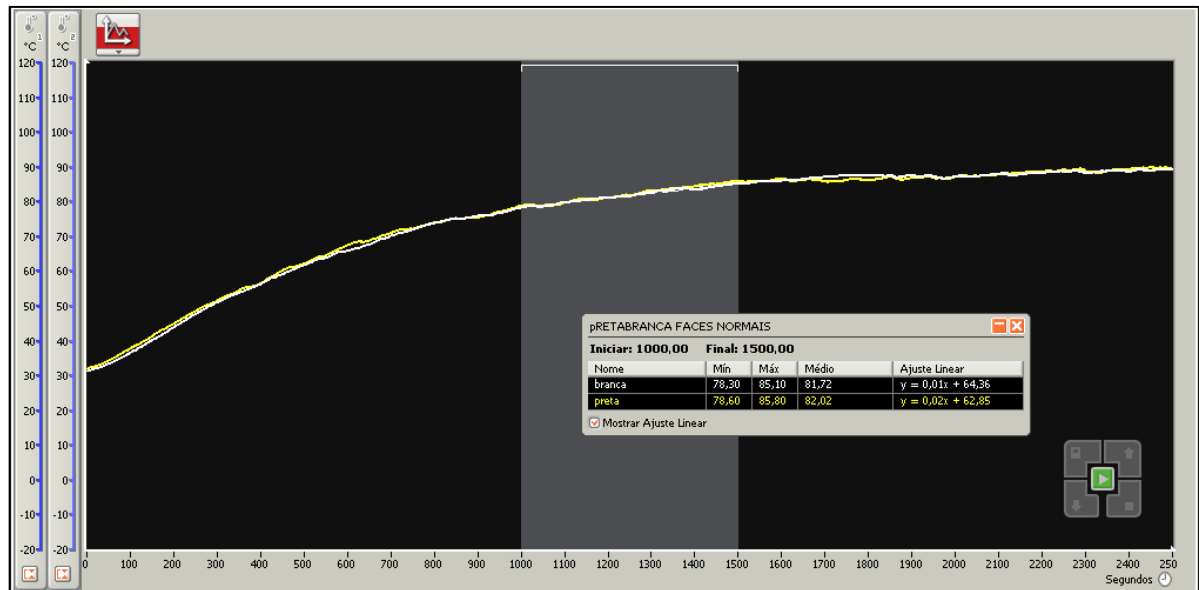


Fonte: https://www.pasco.com/prodCatalog/TD/TD-8554_thermal-radiation-cube-leslies-cube/

O presente sistema vai se diferenciar dos cubos de Leslie disponíveis no mercado pelo emprego de pirômetros óticos e sensores de temperatura por contato, do kit Lego, para se avaliar suas condições térmicas. Vale ressaltar que o cubo de Leslie tradicional (Figuras 14 e 15) se constitui em apenas uma das partes do produto educacional deste Projeto, pois ele deve ser aplicado em conjunto com o cubo modificado, que será abordado adiante neste capítulo.

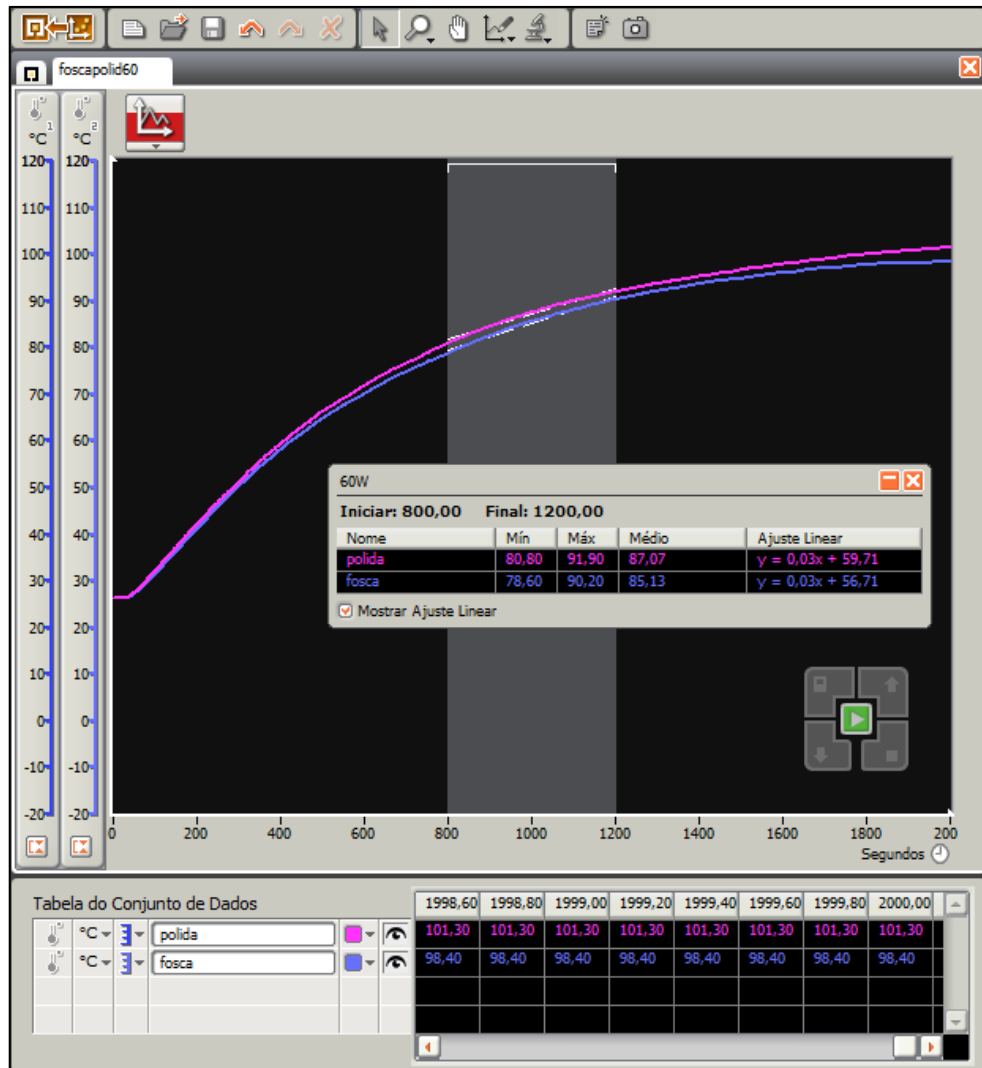
As primeiras medidas realizadas para as faces preta, branca, polida e fosca com o kit de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* e o *software* Lego NXT 2.0 *Data Logging* forneceram os resultados apresentados nas Figuras 27 e 28. Nota-se que a diferença de temperatura entre as faces é praticamente desprezível. As variações de cerca de 1°C a 3°C entre diferentes faces podem ser associadas ao erro do posicionamento do sensor de temperatura na Face do cubo de Leslie.

Figura 27. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando a curva de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces branca e preta do Cubo de Leslie tradicional.



Fonte: o autor.

Figura 28. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando as curvas de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces polida e fosca do Cubo de Leslie tradicional.



Fonte: o autor.

Tal resultado está de acordo com a Lei Zero da Termodinâmica, uma vez que as faces estão praticamente em equilíbrio térmico. Considerando-se que todas elas estão equidistantes à lâmpada no interior do cubo, e que o material que as compõe é da mesma natureza e com as mesmas dimensões, as temperaturas medidas por contato em cada face não dependem da sua preparação ou cor, mas sim da intensidade de radiação absorvida por cada face.

Este cubo foi utilizado na sequência didática apresentada em sala de aula para introduzir questões referentes a radiação de Corpo Negro, a temperatura associada a cada face pintada de branco, preto, polida e fosca.

5.2 Caracterização física do Cubo de Leslie modificado

5.2.1 Sobre a consistência dos resultados produzidos

Antes de se proceder ao planejamento das atividades experimentais, levantou-se algumas possíveis questões de ordem técnica que poderiam introduzir artifícios nas medidas realizadas no cubo de Leslie modificado. Alguns dos cuidados foram, por exemplo, checar o posicionamento da tampa do cubo, fechando-o completamente. Os experimentos foram sempre realizados em ambiente fechado, para que o fluxo de calor por convecção fosse minimizado. Verificou-se também a posição do filamento da lâmpada, paralela às faces, bem como a escolha de lâmpadas incandescentes com potência de até 60 Watts, para que a temperatura do cubo não ultrapassasse o valor máximo medido pelo sensor de temperatura.

Neste equipamento, visa-se explorar o efeito das cores preta e branca na absorção e emissão de radiação visível. Assim, é de importância fundamental garantir que a *emissividade* (Equação 2.11) da tinta utilizada não interfira nos resultados, ou seja, que o valor para as tintas preta e branca sejam as mesmas, emitindo taxas iguais de radiação na faixa do infravermelho.

Para tanto, foram realizadas medidas com um pirômetro infravermelho e com o sensor de temperatura Lego simultaneamente, durante o tempo de aproximadamente 1500 segundos. O objetivo é comparar as temperaturas medidas com os dois equipamentos, e assim inferir o valor da emissividade das faces, como explanado adiante.

O pirômetro infravermelho é um termômetro capaz de medir altas temperaturas sem contato direto com o alvo a ser medido. Eles são empregados em medidas onde termopares e termorresistências interferem na medida ou em locais muito quentes, de difícil acesso ou até mesmo em movimento (SALCAS, 2016). O aparelho utilizado nesta etapa (Figura 29) permite medir temperaturas na faixa de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $420\text{ }^{\circ}\text{C}$, com precisão de $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. O equipamento está calibrado, sem possibilidade de controle, para superfícies com emissividade 0,95. O pirômetro foi posicionado a uma distância de 30 centímetros de cada face do cubo metálico em todos experimentos, como indicado pelo fabricante, para se garantir a precisão nas medidas.

Figura 29. Pirômetro infravermelho.

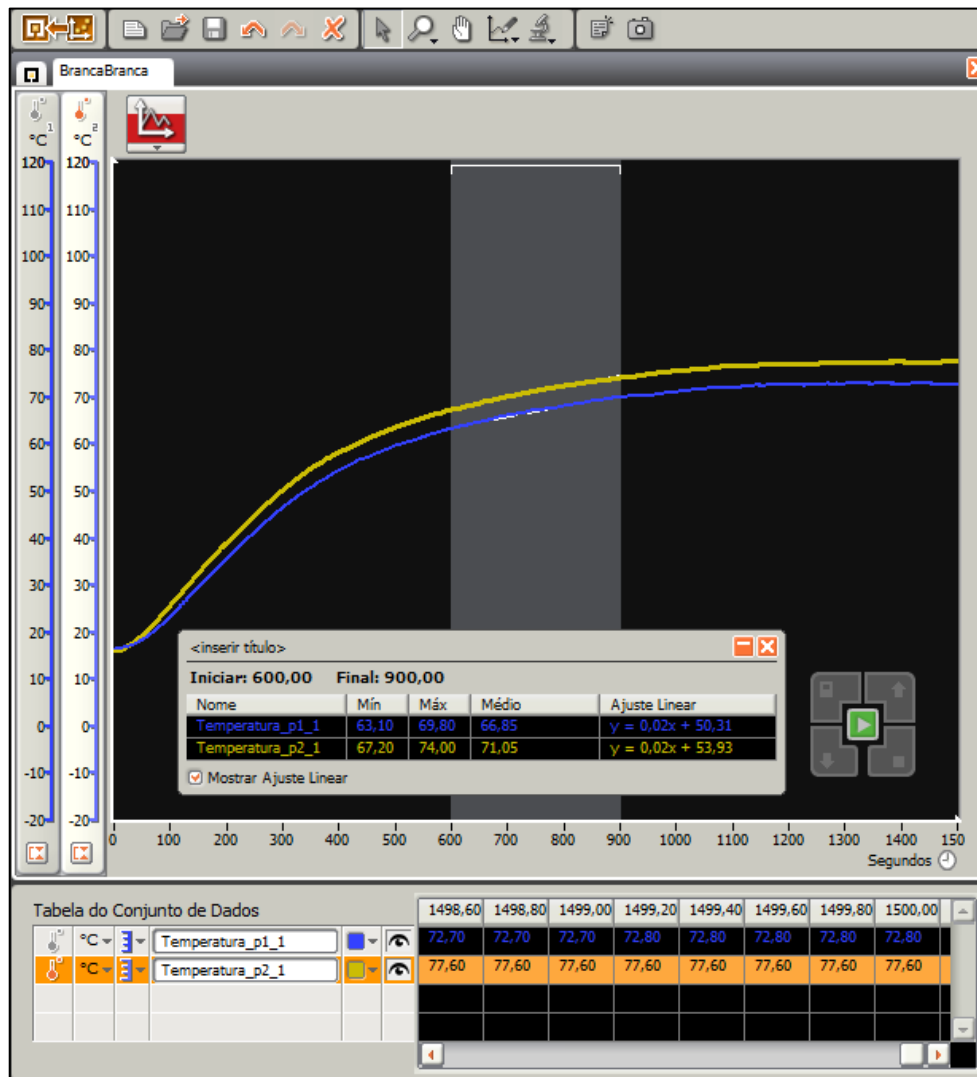


Fonte: http://pt.aliexpress.com/price/digital-pyrometer_price.html

Para a obtenção dos dados, o software do Lego NXT 2.0 *Data Logging* foi programado para registrar a temperatura em 5 Hz, e transferir os resultados em tempo real para o computador via cabo USB. Após o término do tempo, os dados foram salvos em formato (.txt) para a análise em um *software* gráfico.

A Figura 30 apresenta o gráfico de temperatura (em °C) em função do tempo (em segundos) para a face Preta (interna) - Branca (externa), representada pela linha amarela, e para a face Branca (interna) – Branca (externa), representada pela linha azul, obtidas pelo *software* Lego NXT 2.0 *Data Logging*. Diferentemente do cubo tradicional, Figuras 27 e 28, observa-se variações significativas de temperatura entre as faces durante todo o tempo de medidas, sendo aproximadamente 10 °C maior para a preta-branca em 1500 s.

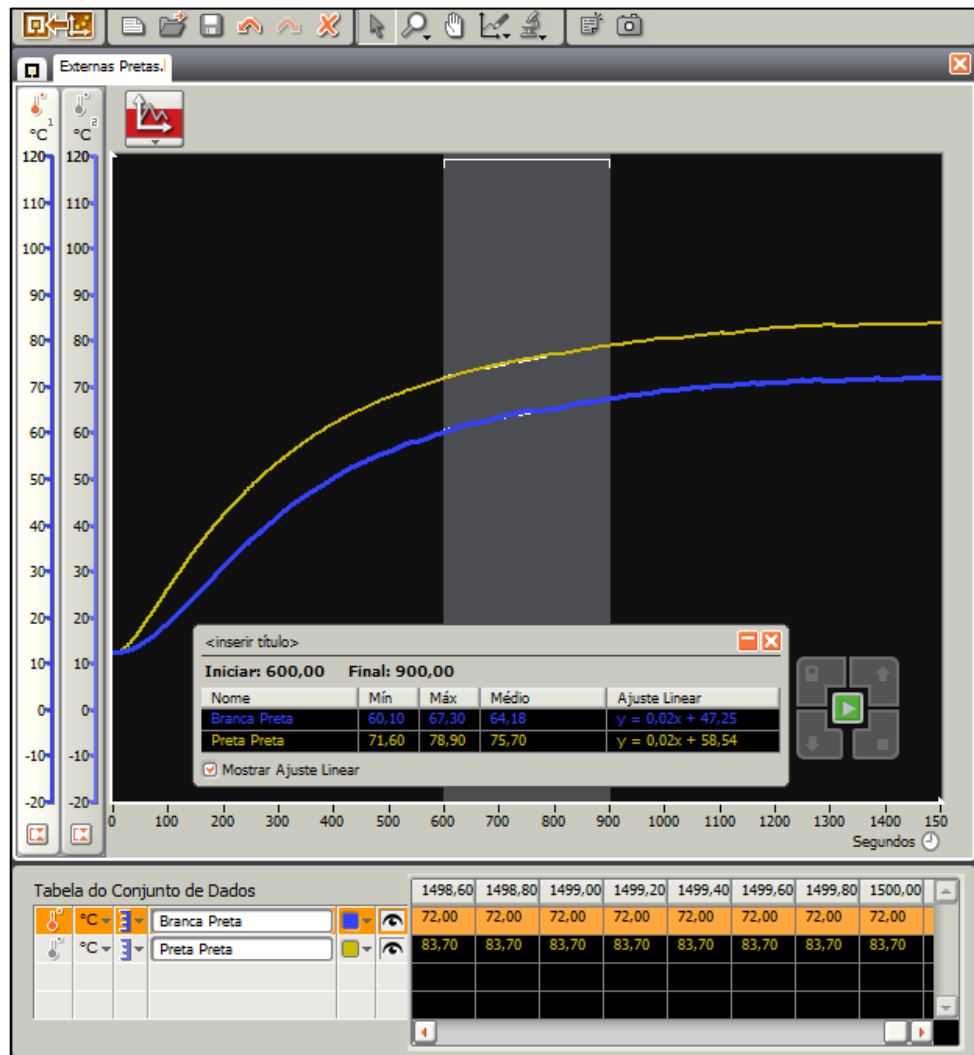
Figura 30. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Branca (externa), linha azul e Preta (interna) – Branca (externa) linha amarela do Cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

O mesmo procedimento foi realizado para as faces Branca (interna) – Preta (externa), representada pela linha azul, e Preta (interna) – Preta (externa) representada pela linha amarela no gráfico da Figura 31. A diferença de temperaturas, neste caso, é ainda maior do que aquela verificada na Figura 30, sendo de aproximadamente 15 °C. Este é um resultado importante, que corrobora a validade da hipótese deste Projeto, de que é possível expandir o emprego deste arranjo experimental para diferentes aspectos da radiação eletromagnética. Esta discussão será retomada na seção 5.2.2.

Figura 31. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Preta (externa), linha azul e Preta (interna) – Preta (externa) linha amarela, para o cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

Os valores das temperaturas registradas pelos sensores de temperatura Lego e pelo pirômetro, que deram origem às Figuras 30 e 31, encontram-se na Tabela 1 que apresenta os valores de tempo e temperatura medidos com o pirômetro e o Lego, em todas as faces do cubo de Leslie modificado.

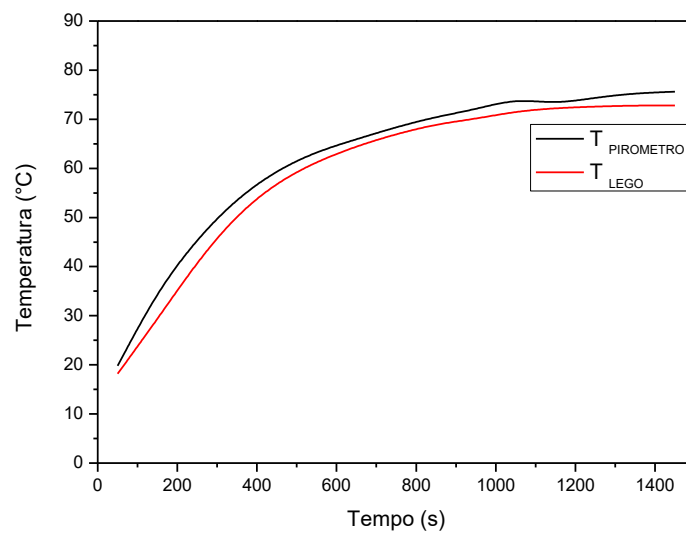
Tabela 1. Valores de temperatura obtidos simultaneamente nas faces do cubo de Leslie modificado, utilizando-se o pirômetro ótico e o sensor de temperatura do kit Lego. A temperatura inicial das faces T_0 , registrada antes de se ligar a lâmpada no interior do cubo.

Tempo s	Face branca-branca		Face branca-preta		Tempo s	Face preta-branca		Face preta-preta	
	Pirômetro °C	Lego °C	Pirômetro °C	Lego °C		Pirômetro °C	Lego °C	Pirômetro °C	Lego °C
	$T_0 = 13,1$ °C	$T_0 = 15,9$ °C	$T_0 = 9,9$ °C	$T_0 = 12,1$ °C		$T_0 = 13,2$ °C	$T_0 = 15,3$ °C	$T_0 = 9,8$ °C	$T_0 = 12$ °C
50	19,8	18,2	17,5	13,9	100	33,6	25,5	33,6	26,0
150	35,0	29,3	31,0	24,5	200	45,3	38,8	45,7	42,0
250	45,7	41,0	40,4	36,7	300	56,5	50,1	57,3	53,6
350	53,9	50,6	51,6	46,3	400	62,3	58,2	64,7	62,0
450	59,6	57,1	56,4	53,3	500	66,3	63,5	70,2	67,6
550	63,4	61,4	60,4	58,1	600	70,9	67,2	73,9	71,6
650	65,9	64,5	65,1	61,9	700	74,2	70,1	77,1	74,8
750	68,4	67,0	66,5	64,6	800	75,4	72,4	79,1	77,0
850	70,5	69,0	68,2	66,5	900	77,7	74,0	81,7	78,9
950	72,0	70,1	70,5	68,3	1000	80,1	75,5	82,7	80,5
1050	74,2	71,6	71,3	69,7	1100	80,3	76,6	83,9	81,6
1150	73,1	72,3	72,2	70,6	1200	80,5	77,1	85,0	82,6
1250	74,4	72,6	74,3	71,4	1300	80,6	77,3	84,8	83,3
1350	75,3	72,8	73,9	71,5	1400	80,9	77,5	85,2	83,5
1450	75,6	72,8	71,4	72,0	1500	81,1	77,6	86,2	83,7

Fonte: o autor.

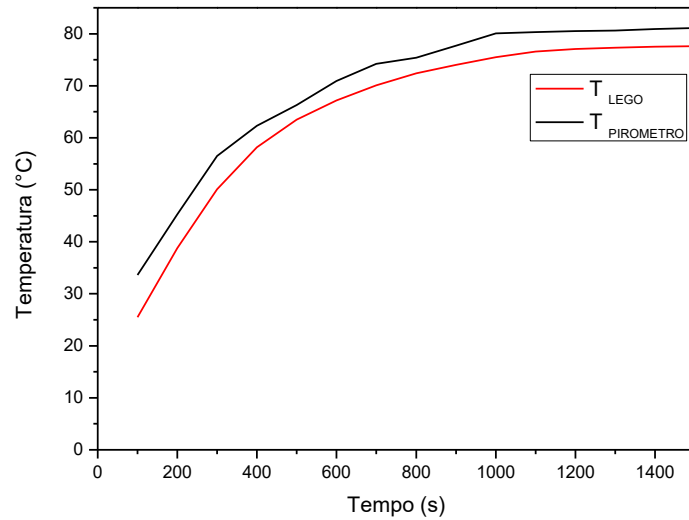
A partir dos resultados da Tabela 1, foi possível gerar gráficos comparativos para as curvas de temperatura obtidas pelo sensor de temperatura e pelo pirômetro. As Figuras 32, 33, 34 e 35 apresentam as curvas de aquecimento para cada uma das faces.

Figura 32. Temperatura em função do tempo para faces Branca (interna) – Branca (externa) referente à Tabela 1.



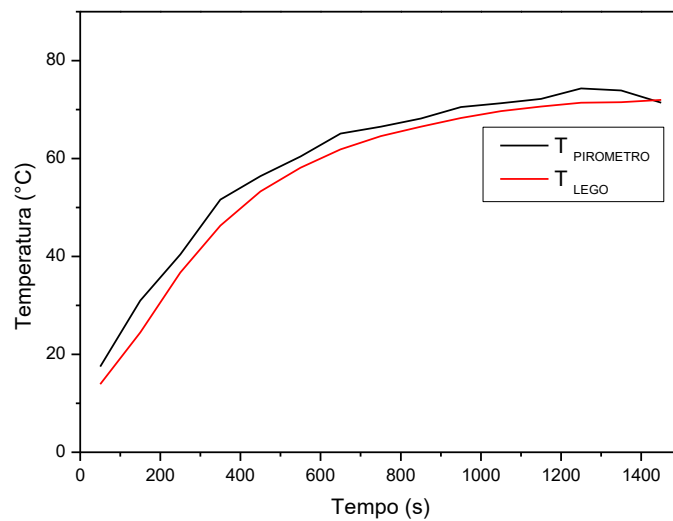
Fonte: O autor.

Figura 33. Temperatura em função do tempo para as faces Preta (interna) – Branca (externa) referente à Tabela 1.



Fonte: o autor.

Figura 34. Temperatura em função do tempo para as faces Branca (interna) – Preta (externa) referente à Tabela 1.

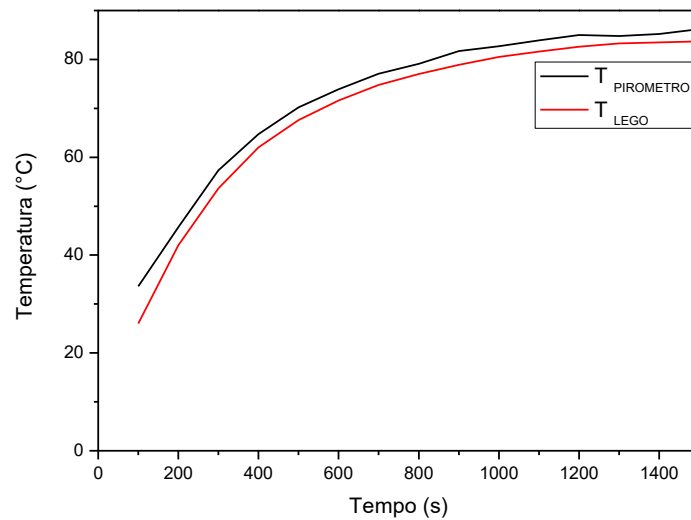


Fonte: o autor.

A partir das Figuras 32 a 35, é possível verificar que o sensor de temperatura componente do kit de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* apresenta um

funcionamento adequado em relação à obtenção de dados, comparando-se aos dados coletados com o pirômetro.

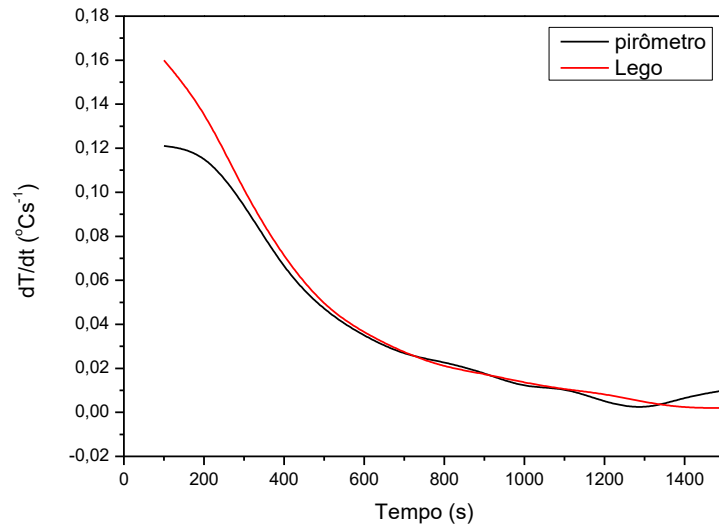
Figura 35. Temperatura em função do tempo para as faces Preta (interna) – Preta (externa) referente à Tabela 5.1.



Fonte: o autor.

Nas Figuras 32 a 35, ainda que a temperatura do pirômetro tenha sido superior às medidas por contato registradas pelo *software*, em todos os casos, é notável a coerência entre as curvas obtidas pelos dois métodos. A Figura 36 é um exemplo da derivada para as curvas de aquecimento das faces Preta (interna) – Preta (externa). Ambas as faces apresentam a mesma variação de temperatura com o aquecimento do cubo, ou seja, os mesmos valores de dT/dt em uma ampla faixa de tempo.

Figura 36. Curva da variação de temperatura do cubo em relação ao tempo, dT/dt , em função do tempo, para a curva de aquecimento das faces preta (interna) e preta (externa) do Cubo de Leslie modificado, medidas com o pirômetro ótico e o sensor de temp



Fonte: o autor.

Em todos os casos, as temperaturas médias registradas para o pirômetro foram superiores àsquelas do Lego em aproximadamente 10 °C. Tal resultado se deve ao fato de que o pirômetro está calibrado para um valor fixo de emissividade ($\varepsilon = 0,95$), acarretando erros quando a medida é obtida em superfícies com valores de ε diferentes.

Para determinar a emissividade de cada face, utilizamos os resultados da Tabela 5.1, considerando-se também a temperatura inicial T_0 , medida com o pirômetro e com o sensor Lego antes de se ligar a lâmpada incandescente. Pela Lei de Stefan-Boltzmann (Equação 2.9), admite-se que, embora as temperaturas medidas com pirômetro e Lego são diferentes, a intensidade total de energia irradiada por unidade de tempo P é evidentemente a mesma em ambos os casos:

$$P_{Lego} = P_{pirômetro} \quad (5.1)$$

Pela equação 2.11,

$$\varepsilon_{fac} \sigma A (T_{face,lego}^4 - T_{0,lego}^4) = \varepsilon_{pir.} \sigma A (T_{face,pir.}^4 - T_{0,pir.}^4) \quad (5.2)$$

Onde $T_{face,lego}$ e $T_{0,lego}$ são as temperaturas da face determinadas antes e durante o experimento, respectivamente, com o Lego; o valor de P_{Lego} calculado com estes valores deve considerar a emissividade ε_{face} “real” da face do cubo. Do mesmo modo, $T_{face,pir.}$ e $T_{0,pir.}$ são temperaturas medidas antes e durante o experimento, respectivamente, com o pirômetro calibrado para $\varepsilon_{pir.} = 0,95$. Considerando-se a Equação 5.1, as temperaturas obtidas com o pirômetro não são corretas, pois devem compensar o valor fixo da emissividade do equipamento. Assim, o termo T^4 obtido com o pirômetro é diferente da temperatura “real” da face (relacionada à medida com o Lego) por um fator:

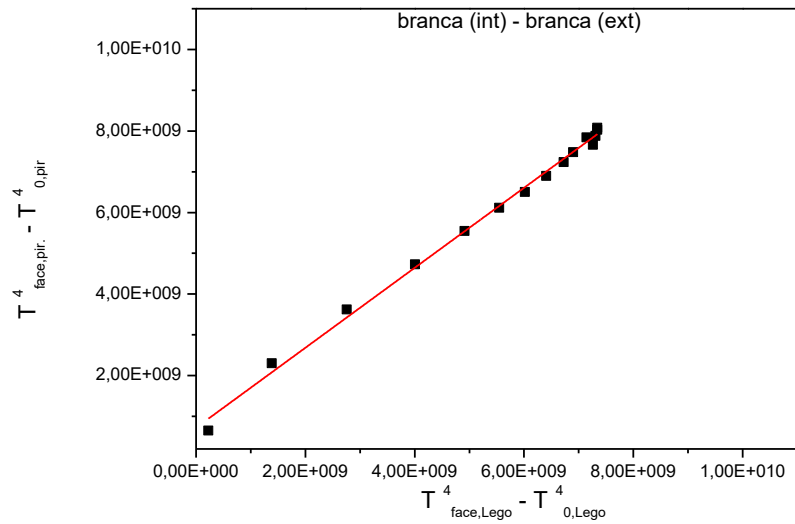
$$\frac{\varepsilon_{face}}{\varepsilon_{pir.}} = \frac{\varepsilon_{face}}{0,95} \quad (5.3)$$

Ou seja,

$$(T_{face,pir.}^4 - T_{0,pir.}^4) = \frac{\varepsilon_{face}}{0,95} (T_{face,lego}^4 - T_{0,lego}^4) \quad (5.4)$$

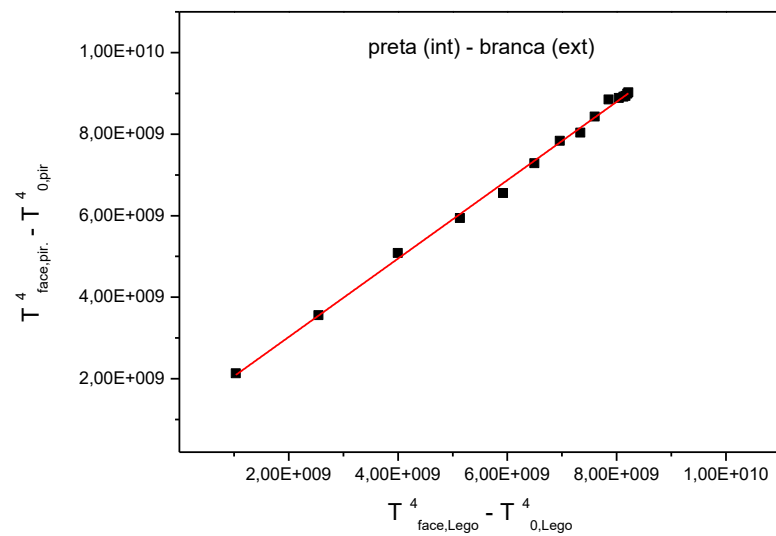
As Figuras 37 a 40 apresentam a relação entre as temperaturas à quarta potência indicadas na Equação 5.4. O ajuste linear das curvas permitiu calcular os valores de emissividade para as faces, que estão sumarizados na Tabela 2. Destaca-se que tais valores de emissividade correspondem à faixa de infravermelho do espectro eletromagnético. A mesma superfície pode apresentar emissividades diferentes para as demais regiões do espectro, como a faixa visível.

Figura 37. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a Equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Branca (interna) – Branca (externa).



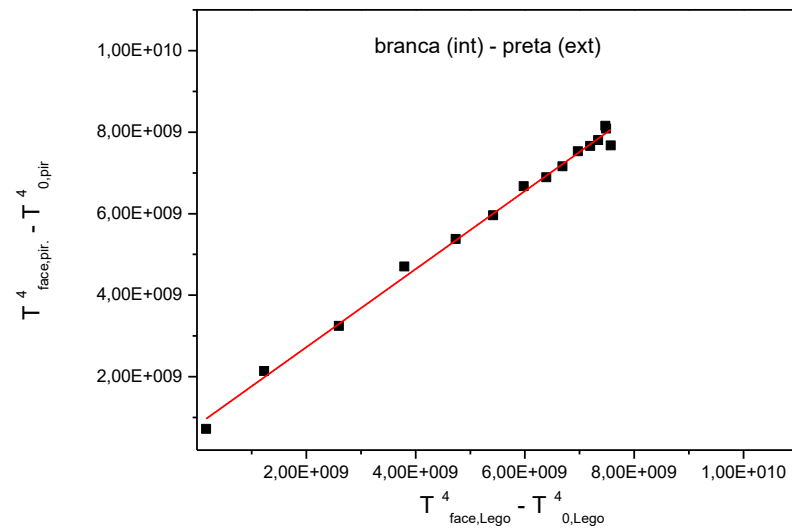
Fonte: o autor.

Figura 38. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a Equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Preta (interna) – Branca (externa).



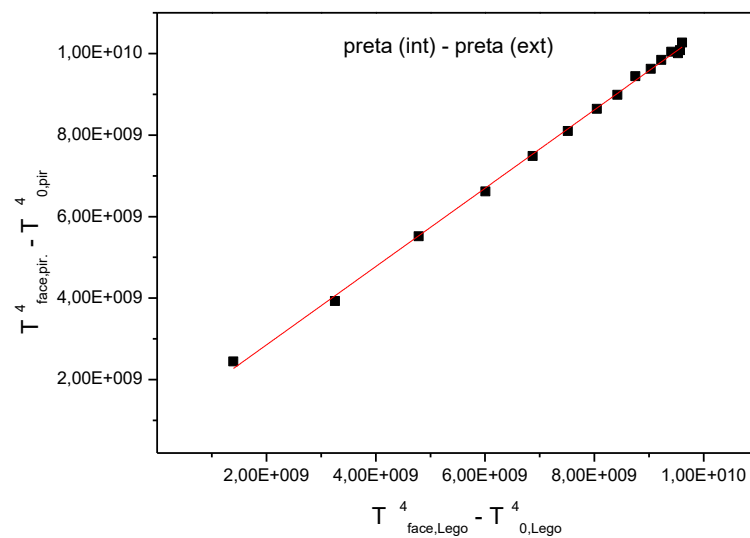
Fonte: o autor.

Figura 39. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das Branca (interna) – Preta (externa).



Fonte: o autor.

Figura 40. Correlação entre as temperaturas medidas com o pirômetro e com o Lego, de acordo com a equação 5.4. O ajuste linear permite inferir a emissividade das faces Preta (interna) – Preta (externa).



Fonte: o autor.

Tabela 2. Valores de coeficiente angular, obtido pelo ajuste linear das curvas nas figuras 39 a 40, e emissividade ε face de cada face conforme Equação 5.4 para as faces do cubo de Leslie modificado externo.

Face	Coeficiente de determinação R^2	Coeficiente angular	$\varepsilon_{\text{face}}$
Branca (int) – branca (ext)	$> 0,99$	$0,98 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,02$
Preta (int) – branca (ext)	$> 0,99$	$0,96 \pm 0,01$	$0,91 \pm 0,01$
Branca (int) – preta (ext)	$> 0,99$	$0,96 \pm 0,02$	$0,91 \pm 0,02$
Preta (int) – preta (ext)	$> 0,99$	$0,96 \pm 0,01$	$0,91 \pm 0,01$

Fonte: o autor.

Na Tabela 2, observa-se que as faces pintadas de preto ou branco apresentam valores de emissividade semelhantes. Isto significa que a tinta empregada na confecção dos cubos, embora com pigmentos de natureza diferente para lhes conferir as cores preta ou branca, possui a mesma emissividade. Estes valores, bastante próximos da emissividade de corpo negro ($\varepsilon_{\text{corpo negro}} = 1$) são coerentes com emissividades reportadas para tintas, que se situam entre 0,85 e 0,99 (THERMOWORKS, 2016).

Porém, todos os ε são levemente menores do que a emissividade do pirômetro ($\varepsilon_{\text{pir}} = 0,95$). Das curvas de aquecimento apresentadas nas Figuras 37 a 40, esperava-se que a emissividade da tinta fosse *maior* que a emissividade fixa do pirômetro, uma vez que as temperaturas medidas com este aparelho sempre foram superiores àsquelas medidas por contato, com o Lego. Explicando de outro modo, conforme a Equação 5.3 uma superfície com emissividade 0,95 teria que estar em uma temperatura maior do que outra, com emissividade maior que este valor, para irradiar na mesma intensidade.

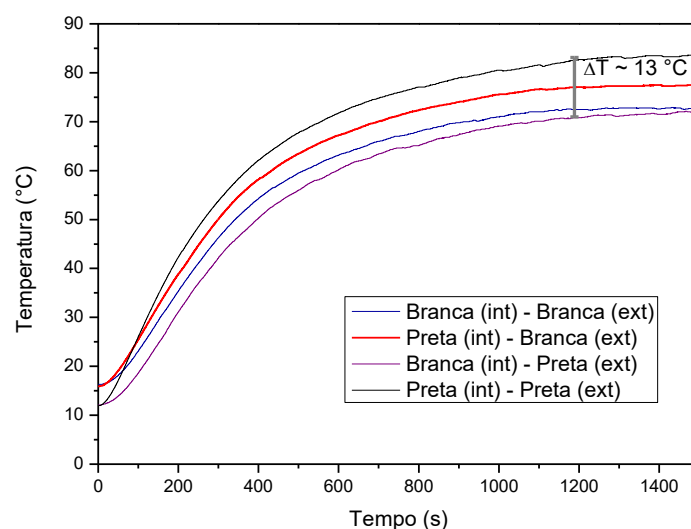
É possível observar pela Tabela 2 que os valores para a emissividade das faces são estatisticamente iguais. Sendo assim, não se pode atribuir as diferenças de temperatura observadas nas faces do Cubo de Leslie modificado à natureza da tinta. Nota-se que as diferenças de temperatura se devem à parte ótica do espectro eletromagnético.

Pode-se atribuir a discrepância nos valores encontrados para a emissividade representados na Tabela 2 com algumas dificuldades experimentais na coleta de dados (erros sistemáticos, uma vez que os coeficientes de determinação foram baixos) e mesmo ao valor de emissividade declarado pelo fabricante do pirômetro, que pode não ser exatamente aquele considerado nos ajustes lineares. Apesar disso, conclui-se que as faces pretas e brancas apresentam o mesmo valor de emissividade, e, portanto, não introduzem artifícios nas atividades experimentais com o cubo de Leslie modificado.

5.2.2 Absorção e emissão de radiação no Cubo de Leslie modificado

Nesta seção, discute-se as curvas de aquecimento das faces do cubo de Leslie modificado, apresentadas nas Figuras 30 e 31. Para melhor visualização dos resultados, os resultados estão agrupados na Figura 41. Ressalta-se que este comportamento foi verificado diversas vezes, em repetidas execuções do experimento. Destaca-se, em especial, que a diferença de temperatura entre as faces pintadas de preto internamente em relação às faces pintadas de branco internamente é significativa, em torno de 13 °C.

Figura 41. Curvas de aquecimento para todas as faces do cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

Acredita-se que a diferença de temperatura observada na Figura 41 se deve à contribuição da parte visível do espectro eletromagnético. A cor branca é resultado da composição de todas as contribuições da faixa visível, ou seja, ela reflete todos os comprimentos de onda que incidem sobre ela. A cor preta é a “ausência de cor”, retendo todos os comprimentos de onda que incidem sobre ela, inclusive a radiação infravermelha.

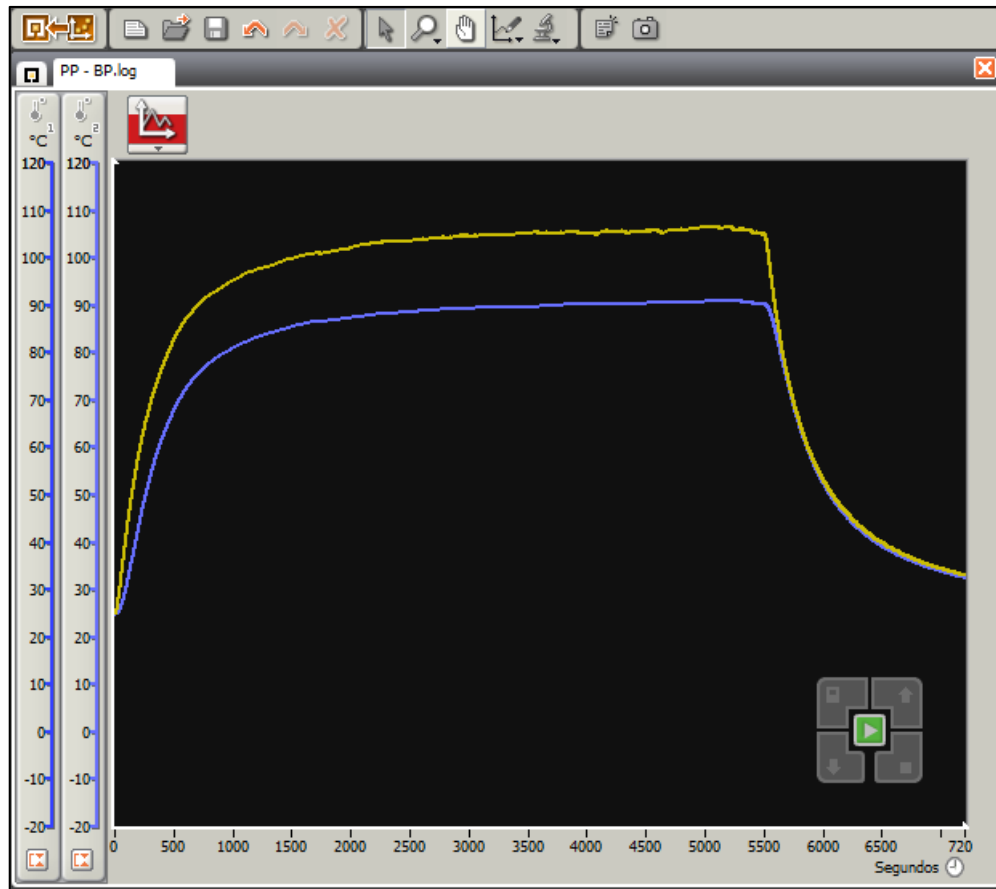
Os valores medidos para a emissividade para o Cubo de Leslie modificado na Tabela 2 são referentes à contribuição da radiação infravermelha. Sendo os valores estatisticamente iguais, e admitindo-se irradiação uniforme nas faces internas pela lâmpada, esta faixa do espectro não é responsável pelas variações de temperatura observadas na Figura 41. Por outro lado, os valores para a emissividade da tinta aplicada no cubo para a fração visível não são necessariamente iguais para todas as faces.

A aplicação deste trabalho permite explorar o Cubo de Leslie além dos fenômenos de irradiação infravermelha, pois neste arranjo experimental se observa que a contribuição visível da radiação eletromagnética contribui na temperatura medida por contato nas faces do Cubo de Leslie modificado.

5.2.3 Comportamento do cubo de Leslie modificado após o equilíbrio térmico

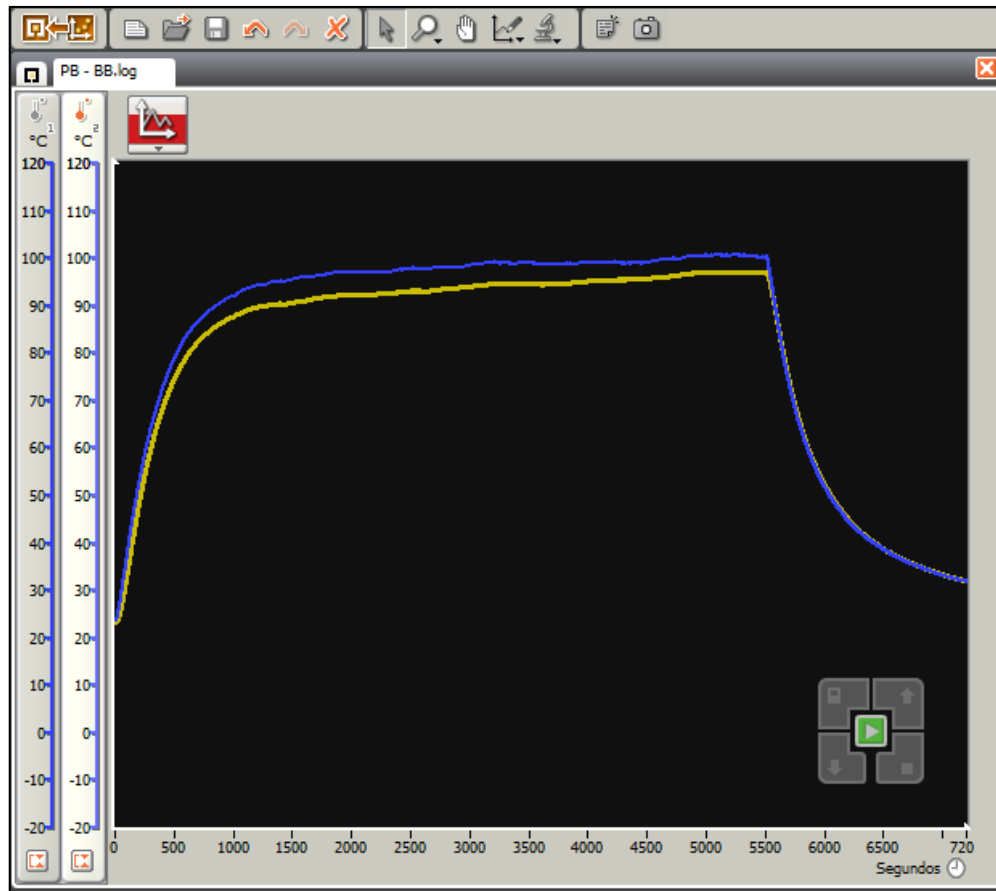
É ainda necessário verificar se as diferenças nas curvas de aquecimento da Figura 41 ocorrem apenas nos estágios iniciais de aquecimento, ou se perduram após longos tempos, quando as faces estão em equilíbrio térmico, com taxas de absorção e emissão de calor em um platô. Assim, foram realizados testes para o aquecimento para tempos longos, cerca de 5500 segundos, e em seguida o resfriamento, cerca de 1700 segundos. As figuras 42 e 43 mostram os valores obtidos para o aquecimento das faces pintadas externamente de preto e pintadas externamente de branco, respectivamente.

Figura 42. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Data Logging*: Aquecimento e resfriamento para as faces Preta (interna) – Preta (externa) e Branca (interna) – Preta (externa).



Fonte: o autor.

Figura 43. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Data Logging*: Aquecimento e resfriamento para as faces Branca (interna) – Branca (externa) e Preta (interna) – Branca (externa).



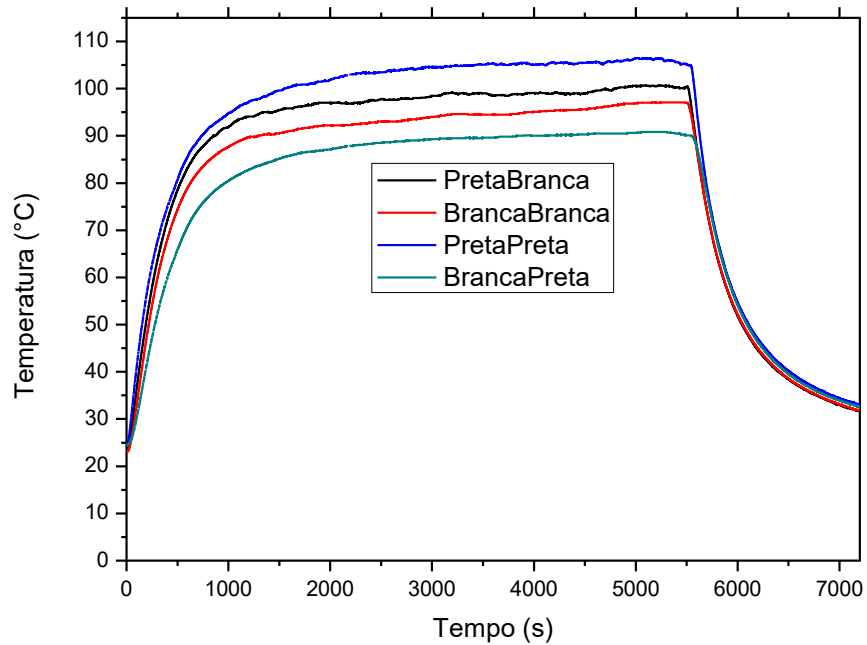
Fonte: o autor.

Na Figura 43, é possível observar que a curva de aquecimento se torna aproximadamente uniforme a partir de 1000 s, devido a pequenas variações de temperatura no ambiente. A face Preta (interna) – Preta (externa) apresenta temperaturas maiores que a Branca (interna) – Preta (externa). Após 5500 s, a lâmpada incandescente foi desligada. Nota-se, então, que o resfriamento ocorre da mesma forma para ambas faces. Diferentemente do aquecimento, que neste processo depende da cor interna da face, o resfriamento é dominado apenas por processos de transferência de calor por condução e convecção (SIAS, 2006).

O aquecimento e resfriamento das quatro faces são representadas em conjunto na Figura 44. É notável que, mesmo após longo período de teste em ambiente controlado, existem ainda diferenças significativas entre as curvas de aquecimento, de acordo com a mesma tendência observada na Figura 41. Com base nestes

resultados, pode-se inferir que tal tendência perdura por tempos ainda mais longos. Conclui-se, assim, que o tempo de ensaio para este experimento com o Cubo de Leslie modificado pode estar limitado a ~ 1500 s, que é adequado para o período de uma aula na Educação Básica.

Figura 44. Aquecimento e resfriamento para das quatro faces do Cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

Capítulo 6: Resultados

Este capítulo mostrará os resultados obtidos pelas equipes da Oficina de Aprendizagem “*Harry Potter*” do Colégio SESI Irati, onde ocorreu a aplicação do produto educacional desenvolvido neste trabalho de Mestrado em Ensino de Física. Nota-se que os alunos tiveram grande facilidade com a montagem e execução do experimento, pois a utilização dos kits de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* é uma prática constante no Colégio, os quais se utilizam de uma linguagem de programação intuitiva.

Questões como radiação, absorção e emissão de radiação e equilíbrio térmico foram abordadas a partir da atividade experimental. Com o auxílio de um pirômetro ótico para a medida da temperatura das faces, verificou-se que a cor da face não influencia na temperatura quando apenas os lados externos são pintados de branco ou preto. Um resultado diferente foi obtido com o cubo metálico similar ao cubo de Leslie, que possui faces internas pintadas e apresenta temperaturas com valores diferentes em cada face, antes do equilíbrio.

6.1 Resultados da aplicação do produto educacional em sala de aula

O assunto trabalhado com o conjunto experimental construído como produto educacional foi a **emissão e absorção térmica**, bem como **equilíbrio térmico e radiação de corpo negro**. A aplicação do Projeto aconteceu em três momentos, sendo eles: (i) montagem dos sensores de temperatura nos Cubos Metálicos, um pintado internamente e outros três Cubos de Leslie tradicionais pintados apenas externamente; (ii) programação e execução do experimento; (iii) análise e comparação dos resultados, obtidos por cada equipe de trabalho, com o grande grupo.

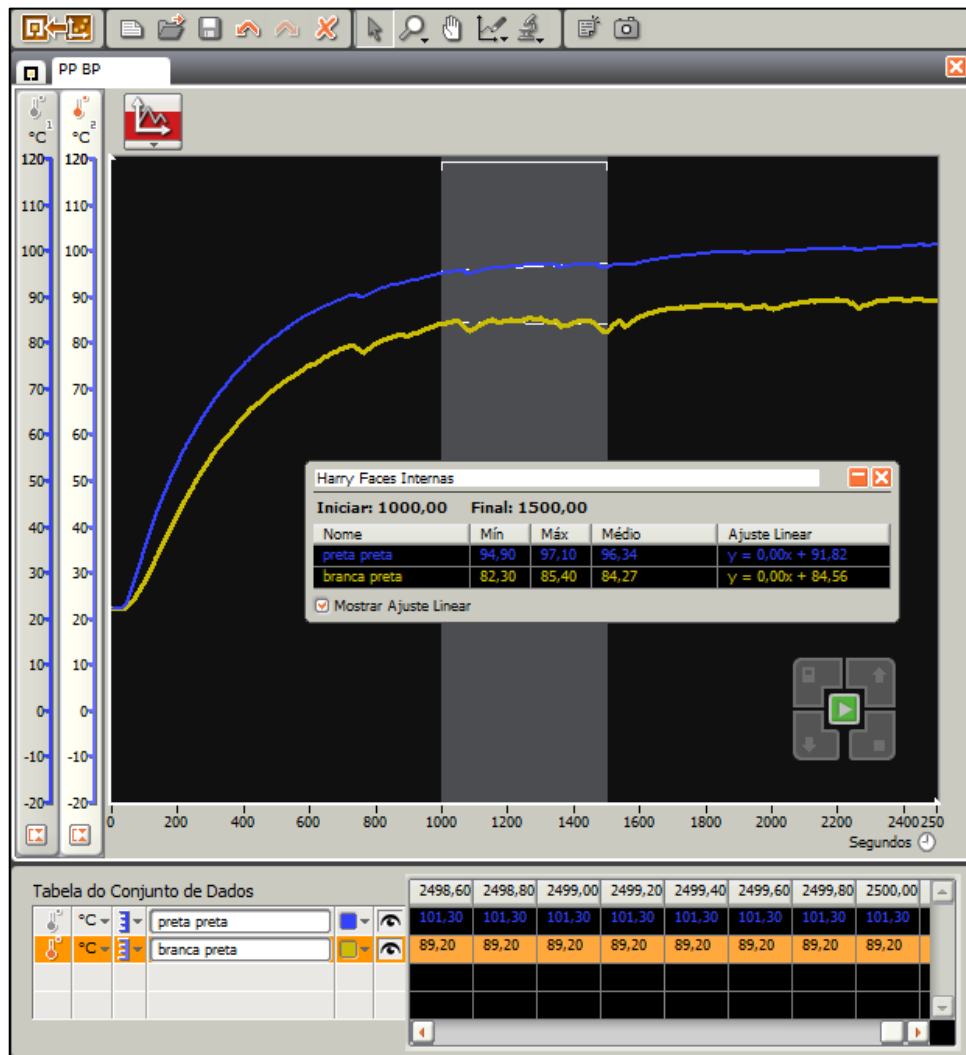
Uma das equipes utilizou o cubo de Leslie modificado e as demais o Cubo de Leslie tradicional, gerando resultados diferentes, o que não era esperado por eles. Isso possibilitou a formulação de hipóteses sobre a causa da divergência dos resultados. Uma das equipes optou por inserir no interior do Cubo de Leslie uma

lâmpada de 100 Watts, esperando que seus resultados fossem diferentes das demais equipes.

Todas equipes foram orientadas a acompanhar a variação da temperatura das faces com um pirômetro ótico, anotando-as para discussão posterior. Esses valores indicaram que as temperaturas das faces branca e preta dos Cubos de Leslie tradicionais são praticamente idênticas - a razão deste fenômeno será discutida adiante -. Para o cubo similar ao Cubo de Leslie, as temperaturas obtidas com o pirômetro apresentaram grande variação, de cerca de 13 °C, como discutido na seção 5.2.2.

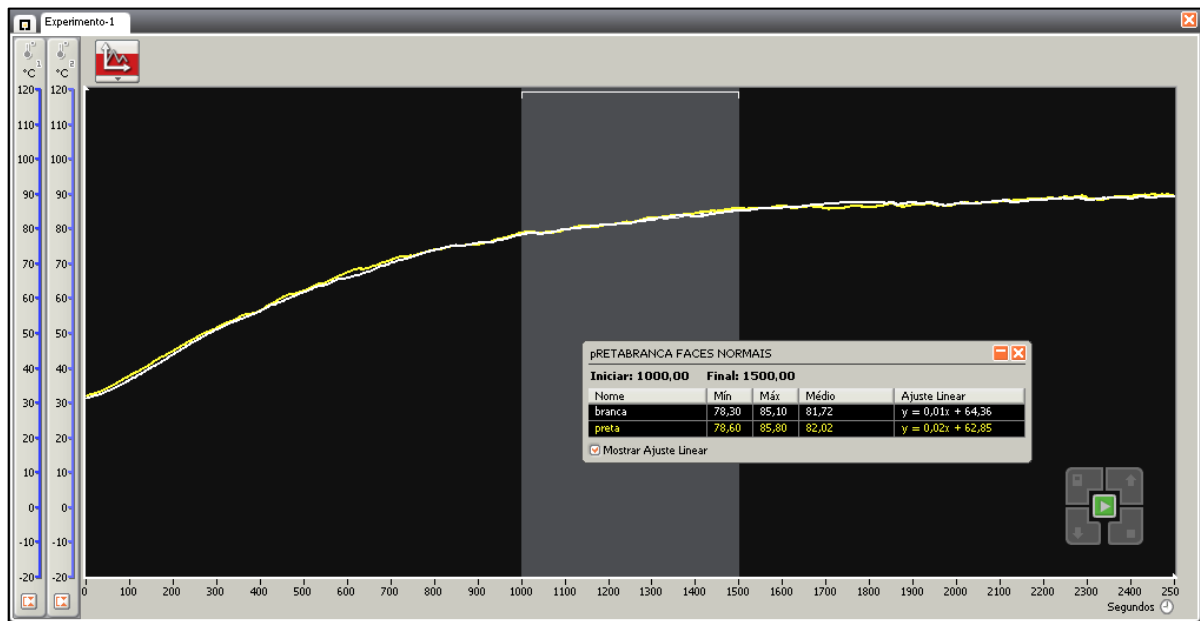
Durante as aulas, observou-se que os alunos demonstraram grande interesse e motivação pela atividade experimental, tanto que uma das equipes optou por realizar um experimento diferente das demais utilizando uma lâmpada com potência de 100 W. Como a utilização dos kits de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* é uma prática constante no colégio, os alunos não tiveram dificuldades em entender os processos relacionados a programação e montagem do experimento. Os gráficos obtidos durante a aplicação do projeto com os alunos estão representados pelas Figuras 45 a 48.

Figura 45. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging, com os resultados obtidos pela equipe 01: Cubo Metálico similar ao Cubo de Leslie com lâmpada de 60 W. As medidas foram realizadas nas faces Preta (interna) – Preta (externa) e Branca (interna) – Preta (externa) ao Cubo.



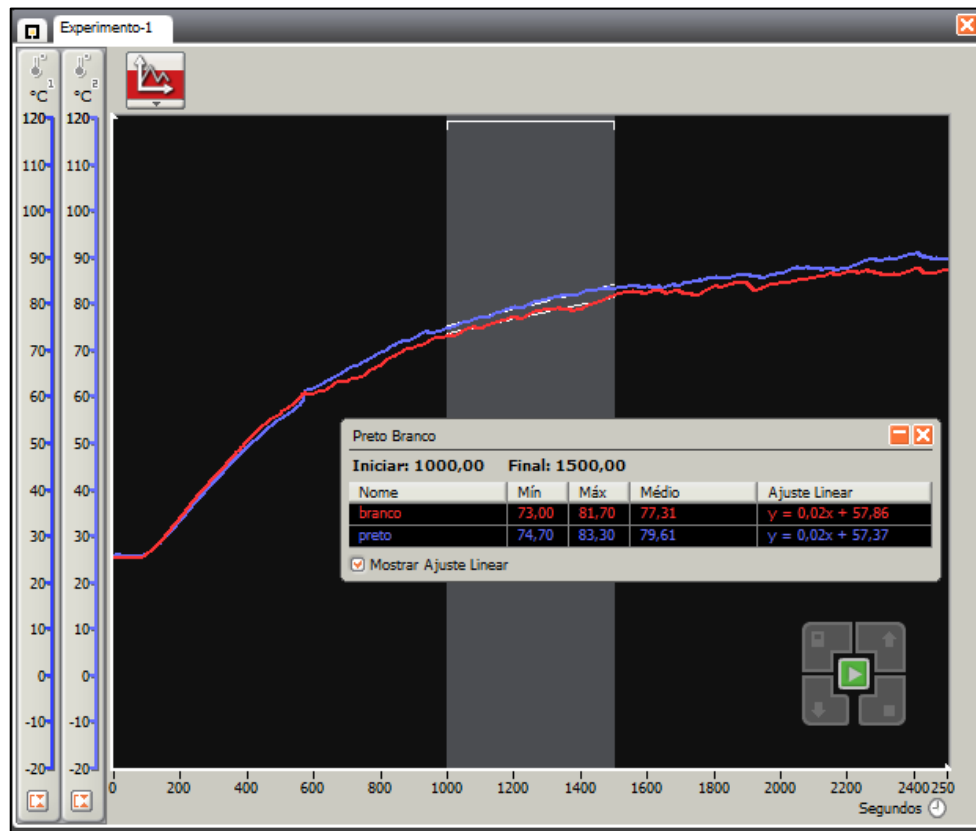
Fonte: o autor.

Figura 46. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging, com os resultados obtidos pela equipe 02: Cubo I de Leslie tradicional com lâmpada de 60 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.



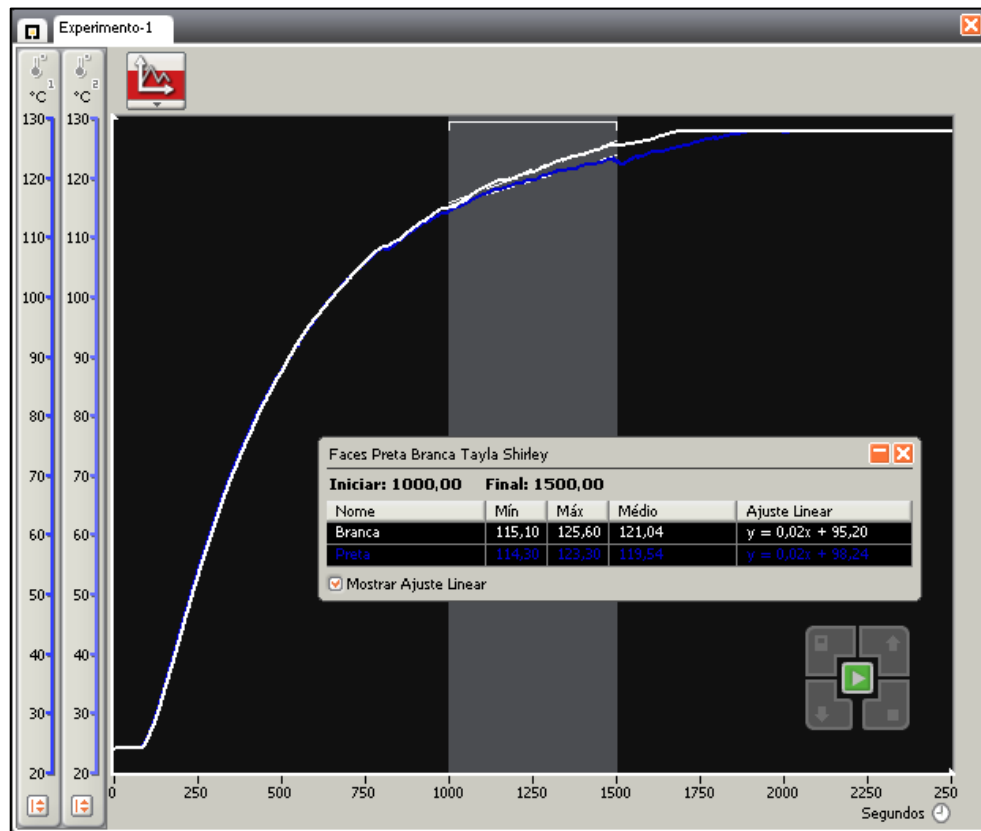
Fonte: o autor.

Figura 47. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Data Logging*, com os resultados obtidos pela equipe 03: Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 60 W As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.



Fonte: o autor.

Figura 48. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging, com os resultados obtidos pela equipe 04: Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 100 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.



Fonte: o autor.

A análise dos gráficos com o grande grupo aconteceu na última aula. Os alunos observaram que alguns gráficos, como os das Figuras 45 e 48, apresentaram curvas menos suaves se comparados com os demais. Esse fato resultou da intensa movimentação durante o experimento, e abertura de portas e janelas próximas ao conjunto experimental das equipes 01 e 03.

Em relação ao gráfico apresentado na Figura 45, os alunos compararam a diferença entre as curvas de aquecimento com os demais gráficos. Os mesmos tiveram grande surpresa ao descobrir a razão pela qual a diferença de temperatura foi maior neste caso, quando a equipe 01 lhes apresentou o Cubo Metálico similar ao cubo de Leslie, mas com as faces pintadas internamente de branco e preto. Assim foi possível realizar a discussão sobre absorção e emissão de radiação térmica.

Quando questionados sobre a diferença de temperatura ser maior no Cubo de Leslie modificado, os alunos fizeram relações com o assunto abordado na primeira

aula sobre a diferença entre a sensação térmica em corpos aquecidos quando pintados da cor branca e da cor preta. Algumas respostas foram que a face preta absorve toda “luz” incidente, então aquece. De modo que a branca reflete a “luz” incidente na face.

Com isso foi possível explicar que o pirômetro realiza a medida da temperatura através do infravermelho, diferentemente do sensor de temperatura Lego que faz a medida através de contato.

A equipe que optou por utilizar uma lâmpada de 100 Watts no interior do Cubo de Leslie tradicional relatou que eles ficaram satisfeitos com os valores obtidos para as temperaturas máximas, cerca de 120 °C (Figura 6.4). Porém, eles não entenderam a razão pela qual o gráfico ficou diferente depois do instante 1500 segundos. Essa diferença no gráfico se deu pelo fato que o sensor de temperatura Lego faz medidas entre os intervalos de – 20 °C a 120 °C. Após essa temperatura o sensor para de funcionar corretamente, e o *software* traça uma reta paralela ao eixo do tempo, como visto na Figura 6.4.

As equipes que trabalharam com os Cubos de Leslie tradicionais foram questionadas a respeito dos valores médios de temperatura. Em todas ocasiões (Figuras 46, 47 e 48), nota-se que as curvas para as faces branca e preta apresentam pouca diferença de temperatura entre si. Isso se deve ao fato que a emissividade para as cores branca e preta é praticamente igual, como visto na Seção 5.2.1, e que a absorção de radiação é igual em todas as faces internas do Cubo de Leslie tradicional, o que pode ser verificado com as medidas efetuadas com o pirômetro. O experimento não foi realizado para as faces polida e fosca devido ao fator de tempo da aula.

Resultado que foi diferente para a equipe 01 que realizou a prática com o Cubo de Leslie modificado. A Figura 45, mostra que a diferença entre as temperaturas de cada face foi cerca de 13 °C, pois esse cubo possui faces pintadas de branca e preto internamente, o que possibilitou a discussão sobre a absorção de radiação na faixa visível e na faixa do infravermelho. Uma das conclusões obtidas pelo grande grupo é que a faixa de radiação visível interferiu na absorção e emissão de radiação.

O assunto referente à Física Moderna e Contemporânea sobre Corpo Negro foi abordado após a comparação dos resultados obtidos para os Cubos de Leslie e para o Cubo de Leslie modificado. A temperatura registrada pelo segundo tiveram a

contribuição da faixa visível do espectro eletromagnético. Para o Cubo de Leslie tradicional esse valor não foi tão significativo (cerca de 1°C a 3°C), pois a radiação i-v emitida depende da temperatura e não da cor do corpo.

Os alunos foram questionados sobre a mudança da inclinação da curva após certo tempo. Quando as taxas de absorção e emissão de cada face ficam próximas, nota-se que elas entram em um estado estacionário. Assim, este conceito foi retomado com os alunos a partir dos gráficos obtidos durante a atividade experimental.

Finalizando a discussão, os alunos foram questionados sobre os tipos de transferência de calor ocorridos no experimento. Foi possível constatar que os educandos entenderam tais conceitos, pois associaram a condução, convecção e irradiação em diversas etapas do experimento.

Capítulo 7: Conclusões

Neste trabalho, procurou-se analisar as contribuições da Robótica Educacional por meio da automatização de experimentos de Física Moderna Contemporânea para o Ensino Médio. O recurso que permite visualizar as curvas e a obtenção de dados em tempo real por meio dos sensores de temperatura se mostrou uma ferramenta importante no ensino e aprendizagem de Física.

Os resultados da aplicação em sala de aula mostraram que a metodologia e os materiais utilizados foram capazes de despertar o interesse e garantir o envolvimento dos estudantes em discussões que foram além das propostas iniciais, como questões sobre absorção e emissão de radiação, contribuição visível da radiação térmica dentro do espectro eletromagnético, radiação de corpo negro e equilíbrio térmico.

É possível afirmar que recursos da Robótica Educacional vão além da construção e programação de robôs autônomos e que podem ser utilizados para a obtenção de dados em tempo real, em experimentos automatizados em sala de aula. O kit Lego NXT *Mindstorms* oferece uma linguagem intuitiva de montagem e programação, sendo acessível aos estudantes de Ensino Médio. Com esse equipamento, é possível realizar experimentos de Física com qualidade na obtenção e visualização de dados. Os gráficos apresentados nas telas de trabalho do *software* que acompanha o kit, o Lego NXT 2.0 *Data Logging*, permitem a leitura e acompanhamento em tempo real e oferecem recursos como ajustes lineares e controle das medidas tomadas em tempos pré-determinados pelo usuário.

Os resultados obtidos para a emissividade das faces do Cubo de Leslie modificado sugerem que a diferença de temperatura observada e registrada através de recursos presentes em kits de Robótica Educacional não se deve à contribuição da radiação infravermelha, mas à contribuição da parte visível do espectro eletromagnético.

Conclui-se que o produto gerado neste trabalho tem potencial para inovar o ensino de Física na área térmica, pois proporcionou a abordagem de conteúdos sobre Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio a partir de atividades práticas que normalmente são tratados de forma teórica ou até mesmo excluídos das discussões

neste segmento de ensino. O produto educacional possibilitou o estudo da emissividade de materiais de forma diferenciada de outras metodologias obtendo resultados consistentes.

Trabalhos Futuros

A experiência proporcionada pela elaboração deste trabalho dentro da temática da Robótica Educacional e de experimentos que envolvem a utilização do sensor de temperatura levou a concepção de novas ideias para o desenvolvimento de trabalhos futuros na área da termodinâmica.

Pretende-se utilizar o sensor de temperatura a automação de experimentos sobre Termodinâmica Clássica como o estudo da transferência de calor em um calorímetro e o cálculo do calor específico e calor latente a partir do gráfico gerado pelo *software* Lego NXT 2.0 *Data Logging* durante o aquecimento e mudança de fase de uma substância como a água, por exemplo.

Dentro da área da Física Moderna e Contemporânea, serão construídos cubos de Leslie modificados com outras cores do espectro visível, para a reprodução de experimentos inspirados nos resultados de William Herschel, realizando-se o levantamento das curvas de aquecimento de suas faces.

Em sala de aula, pretende-se também aplicar novamente este produto educacional dando foco no surgimento da Física Quântica a partir da interpretação de Planck para o problema do Corpo Negro. Vale ressaltar que essa aplicação também poderá ser realizada com alunos de graduação ou encontros de professores de Física da Rede de Colégios SESI Paraná, o que irá contribuir na formação dos profissionais de Física enquanto a recursos tecnológicos como os kits de Robótica Educacional e ao produto educacional gerado neste trabalho.

Referências Bibliográficas

ARDUINO. Disponível em < <https://www.arduino.cc/> > Acesso em 05/07/2016;

BAHIANA, M. **Radiação de Corpo Negro**. Instituto de Física – UFRJ. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/>> Acesso em 29/05/2016;

BENITTI, F.B. **Experimentação com Robótica Educativa no Ensino Médio:**

ambiente, atividades e resultados. Departamento de Sistemas e Computação – FURB, p. 1811 a 1820;

BETZ, M. **Física do Século XX – A**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/iqindex.htm> Acesso em: 29/05/2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC, 2016.

_____ **Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB)**. Brasília: MEC, 1996.

_____ **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) – Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2000.

_____ **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) – Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRASILESCOLA. Disponível em : <<http://brasilescola.uol.com.br/informatica/robos.htm>> Acesso em: 05/07/2016.

COLAÇO, V. de F. R. **Processos interacionais e a construção de conhecimento e subjetividade de crianças. Psicologia: Reflexão e Crítica**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 333-340, 2004.

COLÉGIO SESI Ensino Médio: **proposta pedagógica/** Curitiba: SESI/PR,2011.

COLÉGIO SESI Ensino Médio: portal. Disponível em: <http://www.sesipr.org.br/colgiosesi/metodologia/?ref=cap> > Acesso em: 16/04/2015;

CINCELLI, S. **Teaching with robotics: different experiences at school after the TERECoP courses**. Proceedings of SIMPAR 2010 Workshops;

CHURCH, W. **Physics With Robotics Using LEGO® MINDSTORMS® in High School Education**. 2010;

CYSNEIROS, P. G. **Resenha crítica de A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática**. Revista Brasileira de Informática na Educação – Número 5 – 1999;

D'ABREU, J. V.V. **Ambiente Colaborativo de Aprendizagem a Distância Baseado no Controle de Dispositivos Robóticos.** Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE – UFES – 2001;

D'AGOSTIN, A. **Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do Ensino Médio.** Curitiba, 2008. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Paraná.

da SILVA, S. A.; de SOUZA, G. B. **A supercondutividade como tema gerador para o ensino de eletromagnetismo: uma abordagem didática para professores de Física.** In: BATISTA, A. M. P. et al. (eds.) O professor PDE e os desafios da escola pública paranense, 2012. Curitiba : SEED – Pr., 2014.

da SILVA. S, R, X. **Análise Comparativa de Kits de Robótica Educativa.** XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011.

DEMO, P. **Educar pela Pesquisa.** 7. Ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2005. In: Colégio SESI ensino médio: proposta pedagógica./ Curitiba: SESI/PR,2011.

DOMINGUINI. L, **Física Moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2, 2012.

FERREIRA, A. S. **A contribuição da robótica para o desenvolvimento das competências cognitivas superiores no contexto dos projetos de trabalho.** Educação Pública – Estado do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/tecnologia/0017.html> acesso em: 16/02/2015;

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.** 15 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2000. In: **Colégio SESI ensino médio: proposta pedagógica.**/ Curitiba: SESI/PR,2011.

GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, UFSM. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/>>. Acesso em: 12/06/2016.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. **Física** – vol. 2. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.

HEPP. K, P, MERINO. D, M, BARRIGA. J, M, HUIRCAPAN. A, A, **Tecnologia robótica em contextos vulneráveis com estudantes da etnia Mapuche.** *Estud. pedagóg.* [online]. 2013, vol.39, n.Especial, pp.75-84.

HEWITT. P, G. **Física Conceitual.** 9ª ed. São Paulo: ARTMED EDITORA S.A. 2002.

LABVIRTUAL. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_joomap&Itemid=128> Acesso em: 29/05/2016

LEGO NXT MindStorms. **Official page**. Disponível em: <<http://www.lego.com/en-us/mindstorms>>. Acesso em: 25 nov 2014.

MEDEIROS, W. H. **PRIMÓRDIOS DA FÍSICA QUÂNTICA: RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO**. UFR, 2010.

MICHA, D. N. et al. **Enxergando o escuro: a física do invisível**. Física na Escola, v. 12, n. 2, 2011.

MIQUELIN, A. F. **Complexidade educacional: o caminho da escola para a leitura do mundo**. In: SESI PARANÁ: Diálogos com a prática: construções teóricas – Coletânea 1. SESI, Serviço Social da Indústria/PR., Edição digital, 2008.

MODELIX. Disponível em < <http://modelix.cc/>> Acesso em: 05/07/2016;

NOVO, M. M. et. al. **Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade**. Cerâmica 60. p. 22-33, 2014;

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica – vol. 4**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998;

NXT USER GUIDE. Disponível em <http://cache.lego.com/downloads/education/9797_LME_UserGuide_US_low.pdf> Acesso em: 12/07/2016;

OLIVEIRA, F. F. et. al. **Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007;

OLIVEIRA, M. P. de. **Física em Contextos: pessoal, social e histórico: movimento, força e astronomia**. - 1ª ed. São Paulo: FTD: 2010.

PASCO. **Thermal Radiation Cube (Leslie's Cube)**. Disponível em: <https://www.pasco.com/prodCatalog/TD/TD-8554_thermal-radiation-cube-leslies-cube/>; Acesso em: 10/07/2016;

PAPERT, S. **A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática**. 1994.

PENTEADO, P.C; TORRES, C.M. **Física - Ciência e Tecnologia**, v. 3. Editora: Moderna, São Paulo, 2005;

PETE. Disponível em < <http://loja.pete.com.br/kit>> Acesso em 05/07/2016;

PIAGET, J. **Seis estudos de Psicologia**. Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2006.

RIPER, A. V. **O ambiente Logo como mediação instrumental**. Revista: Em Aberto, Brasília, ano 12, n. 57, jan./mar. 1993.

ROUXINOL, E. **NOVAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO PRELIMINAR DAS CARACTERÍSTICAS E POTENCIALIDADES DE ATIVIDADES USANDO KITS DE ROBÓTICA**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2011.

SALCAS. **O que é Pirômetro Infravermelho**. Disponível em: <<http://www.salcas.com.br/novidades/pirometro-infravermelho>> Acesso em: 10/07/2016.

SAMPAIO, J.L. CALÇADA, C.S. - **Física: Volume Único** - 2ª ed. São Paulo: Atual, 2005.

SAVIANI, D. **Saber Escolar, currículo e didática: problemas da unidade**

conteúdo/método no processo pedagógico - 4 edição - Campinas, SP; Autores Associados, 2003.

SALVADOR, C. **Aprendizagem escolar e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

SESI PARANÁ: **Diálogos com a prática: construções teóricas** – Coletânea 1. Sesi, Serviço Social da Indústria/PR., Edição digital, 2008.

SIAS, D. B. **Resfriamento de um corpo: a aquisição automática de dados propiciando discussões conceituais no laboratório didático de física no ensino médio**. Cad. Bras. Ens. Fís. v.23, n.3: p. 360-381, dez. 2006.

SOUZA, V.F. **ROBÓTICA EDUCACIONAL: UTILIZAÇÃO DOS KITS LEGO MINDSTORMS COMO MOTIVAÇÃO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**. II Encontro de divulgação de Atividades de Pesquisa, Ensino e Extensão PIBID-UENP: Desafios e Perspectivas. 2013.

THERMOWORKS. **Emissivity Table**. Disponível em: <http://www.thermoworks.com/learning/emissivity_table> Acesso em: 12/07/2016;

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2010.

YNOGUTI, C.A. 2012 **Introdução à Engenharia: uma abordagem baseada em problemas usando o kit Lego NXT**. PBL-ABP Congresso Internacional. 2012.

VALENTE, J.A. **Diferentes usos do computador na educação**. Revista: Em Aberto, Brasília, ano 12, n. 57, jan./mar. 1993.

ZOOM EDUCATION. Disponível em: <<http://www.legozoom.com.br/escolafranqueada/faq/>> acesso em 07/08/2014 às 20h10min;

ZOOM EDUCATION, Fascículos do Aluno, vol. 1, 2, 3 e 4. 2015.

APÊNDICE A:
QUESTIONÁRIO PRÉVIO A REALIZAÇÃO DO
EXPERIMENTO

Neste questionário, você irá responder as questões para fins de investigação inicial do seu conhecimento. Ao final dessa atividade, você responderá a um novo questionário para verificar seu avanço e aprendizagem enquanto ao conteúdo abordado nas aulas de Física e Oficinas Tecnológicas.

01 – Qual a diferença entre Calor e Temperatura?

02 – Quais são os tipos de Transferência de Calor que observamos neste experimento? Faça uma síntese a partir dos conhecimentos que já adquiriu ao longo dessa Oficina de Aprendizagem.

03 – Como você pode explicar a diferença de temperatura de corpos pintados de Branco e Preto? Elas têm diferença? Se sim, por que isso ocorre?

04 – Existe relação entre a temperatura e o tipo de radiação emitida pela fonte de calor? Qual?

APÊNDICE B:
QUESTIONÁRIO POSTERIOR À REALIZAÇÃO DO
EXPERIMENTO

01 - Desenhe os gráficos observados no experimento dos cubos metálicos (o pintado internamente e o não pintado).

Cubo de Leslie tradicional	Cubo de Leslie modificado

02 - Explique a diferença dos gráficos obtidos com o experimento. Os resultados foram iguais? Porque?

03 - Por que objetos expostos ao sol, ou muito próximos a uma lâmpada incandescente, se aquecem? O aquecimento do objeto será igual se a lâmpada for fluorescente ou de Led, com a mesma potência (mesmo valor em watts)?

04 - Considerando as formas de transferência de calor discutidas no início do bimestre, relacione-as ao experimento realizado com os cubos, apontando onde cada tipo de transferência ocorre.

05 - Se aquecer uma barra de metal no fogo, o que acontece com ela? E se aquecer muito, como nas siderúrgicas?

06 - Se duas chapas de metal, uma branca e uma preta, forem expostas ao Sol, você sentirá a mesma sensação ao tocá-las? E se você medir sua temperatura, o que espera acontecer?

07 - Corpos pintados de cor preta, em geral apresentam temperaturas maiores que os pintados de cores brancas. Porque isso ocorre?

08 – Qual a definição de corpo negro? Podemos associar este conjunto experimental a este tipo de corpo?

APÊNDICE C: PRODUTO EDUCACIONAL

Automatização de experimentos de Física Moderna com o kit Lego NXT *Mindstorms*

Wanderley Marcílio Veronez

Produto educacional gerado a partir do desenvolvimento e aplicação do projeto “Robótica educacional como instrumento para automatização de experimentos de Física Moderna” no programa nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Polo 35, da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG.

Ponta Grossa
Julho de 2016

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro da radiação eletromagnética	108
Figura 2. Modelo de corpo negro.	109
Figura 3. Distribuição espectral da intensidade de radiação térmica I em função da frequência ν	111
Figura 4. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces fosca e preta.....	114
Figura 5. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces polida e branca. ...	114
Figura 6. Vista superior do Cubo de Leslie Modificado. As cores branca, preta, amarela e cinza representam as faces branca, preta, a lâmpada incandescente disposta no centro e o interior do Cubo Metálico, respectivamente.	115
Figura 7. Detalhe da base do cubo metálico: Base feita em madeira com formato circular para o encaixe no bocal da lâmpada.	116
Figura 8. Base em madeira para a lâmpada, o cubo metálico, o NXT e os sensores de temperatura.	116
Figura 9. Cubo metálico posicionado na base de madeira.....	117
Figura 10. Cubo metálico posicionado na base de madeira.....	117
Figura 11. NXT e sensores de temperatura posicionados na base de madeira.	118
Figura 12. Materiais utilizados para a acoplar um dos sensores ao NXT e posicionar paralelamente a uma das faces do cubo metálico.....	118
Figura 13. Vista lateral do conjunto.	119
Figura 14. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Programming.	120
Figura 15. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Programming – Alternar para Log de Dados do NXT.....	121
Figura 16. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging.....	122
Figura 17. Configuração do tempo do experimento em minutos ou segundos.....	122
Figura 18. Configuração do número de amostras ou tempo entre o número de amostras.....	123
Figura 19. Opções de sensores para a programação de experimentos.	123
Figura 20. Gráfico gerado pelo <i>software</i> Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i>	124

Figura 21. Tela de trabalho do <i>software</i> NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando a curva de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces branca e preta do Cubo de Leslie tradicional.	125
Figura 22. Tela de trabalho do <i>software</i> NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces polida e fosca do Cubo de Leslie tradicional.	126
Figura 23. Tela de trabalho do <i>software</i> NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Branca (externa), linha azul e Preta (interna) – Branca (externa) linha amarela do Cubo de Leslie modificado.	127
Figura 24. Tela de trabalho do <i>software</i> NTX 2.0 <i>Data Logging</i> , mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Preta (externa), linha azul e Preta (interna) – Preta (externa) linha amarela, para o cubo de Leslie modificado.	128
Figura 25. Tela de trabalho do <i>software</i> Lego NXT 2.0 <i>Programming</i> – Opção “Janela do NXT” para acesso à memória.	129
Figura 26. Tela de trabalho do <i>software</i> Lego NXT 2.0 <i>Programming</i> – Níveis de memória do NXT.	130
Figura 27. Caixa de diálogo – apagando todos os dados presentes no NXT.....	130
Figura 28. Tela de trabalho do <i>software</i> Lego NXT 2.0 <i>Data Logging</i> , com os resultados obtidos para o Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 100 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.	131

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	105
Capítulo 2: Radiação Térmica	106
1.1 Radiação Térmica.....	106
1.2. Corpo Negro.....	109
Capítulo 2: Construção dos Cubos de Leslie	114
Capítulo 3: Programação do Experimento	120
3.1 Acesso ao software Lego NXT 2.0 Data Logging.....	120
3.2 Resultados do experimento com os Cubos Metálicos.....	125
3.3 Possíveis Erros Técnicos.....	129
3.3.1 Erros na transferência de dados para o NXT	129
3.3.2 Erro na coleta de dados devido a limitações do sensor de temperatura	131
Capítulo 4: aplicação em sala de aula.	133
4.1 Radiação de Corpo Negro.....	133
4.2 Materiais utilizados.....	133
4.3 Aula 01: Montagem do conjunto experimental e programações	134
4.3.1 Questionário inicial	134
4.4 Aula 02: experimentação e análise dos resultados	135
4.4.1 Questionário Final	135
Referências bibliográficas.....	138

Capítulo 1: Introdução

Os estudos de Planck sobre a radiação de corpo negro foram fundamentais para o surgimento da mecânica quântica no início do século XX a partir do estudo da Radiação de Corpo Negro. O Cubo de Leslie é uma aproximação de um corpo negro, pois toda radiação nele incidente, pelas faces internas, é absorvida. Este trabalho apresenta um roteiro para a automatização de experimentos com um Cubo de Leslie tradicional e um Cubo de Leslie modificado.

A partir da realização deste experimento é possível levantar questões acerca da emissividade de corpos pintados de preto e branco, contribuição da radiação visível do espectro eletromagnético no aquecimento do Cubo, equilíbrio térmico e radiação de corpo negro.

Mostra-se, a seguir, as etapas para a elaboração dos cubos de Leslie tradicional e modificado, as etapas de programação, bem como os possíveis erros que o microprocessador e o sensor de temperatura do kit Lego NXT *Mindstorms* (utilizado como instrumento de coleta de dados) pode apresentar na execução do experimento. Ao final deste texto, apresenta-se uma proposta metodológica para que outros professores possam utilizar em sala de aula no Ensino Médio.

Capítulo 2: Radiação Térmica

Neste capítulo, aborda-se os fundamentos dos fenômenos investigados no Produto Didático deste Projeto, que se constitui em um Cubo de Leslie modificado, bem como aqueles que serviram para seu desenvolvimento e caracterização. Os conceitos gerais de radiação eletromagnética e, em especial, de radiação térmica serão discutidos com base na sua interação com superfícies e o subsequente aumento de temperatura e emissão de radiação na faixa do infravermelho. Destaca-se que o conhecimento da emissividade dos materiais foi imprescindível para os testes de qualidade do produto, ainda na fase de sua construção.

1.1 Radiação Térmica

Todo corpo com temperatura diferente de zero absoluto emite radiação. Quanto maior a sua temperatura, maior será essa taxa de emissão, por isso a chamamos de *Radiação Térmica*. O equilíbrio térmico dos corpos está relacionado à taxa de radiação que um corpo absorve e com a taxa de radiação que ele emite. Quando essas taxas são iguais, dizemos que o corpo está em equilíbrio térmico (NUSSENZVEIG, 1998).

Ao contrário de outros processos de transferência de calor como a condução e a convecção, a radiação térmica não necessita de um meio material para sua propagação. A energia transferida depende da diferença entre as temperaturas elevadas à quarta potência (como será discutido adiante). Assim, para temperaturas maiores, essa taxa de transferência de energia é mais elevada (BETZ, 2016).

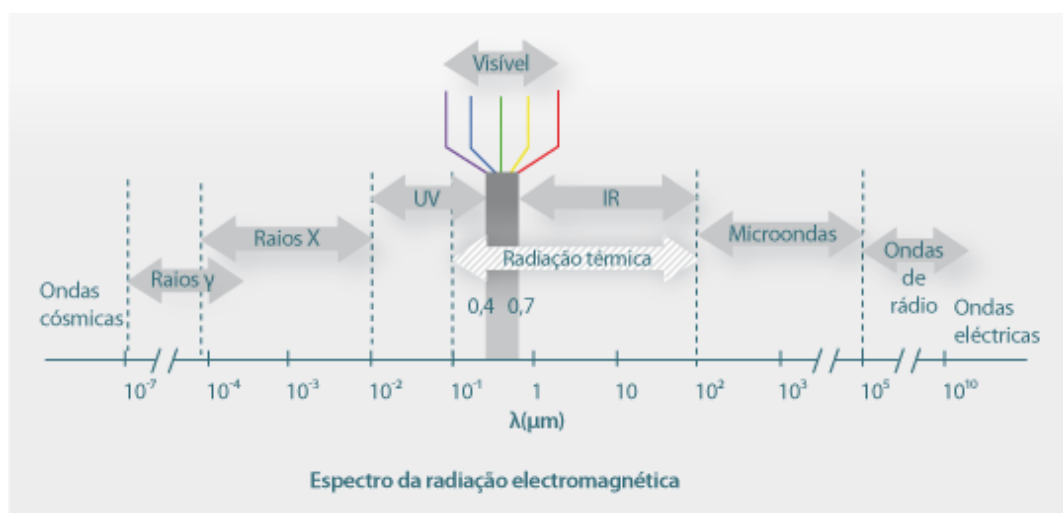
De modo simples, pode-se afirmar que a radiação térmica se origina da aceleração das cargas elétricas no interior dos corpos. Em sólidos, a temperatura está relacionada a vibrações de átomos em suas posições na estrutura cristalina do material. Os fótons emitidos ou absorvidos têm energia igual às diferenças de energia nas transições entre estados permitidos de vibração, previstos pela Mecânica Quântica. Essas transições são do tipo dipolo elétrico, e a *aceleração* dessas cargas se relaciona à emissão de radiação térmica (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

O termo radiação é designado para processos de transferência de energia através de ondas eletromagnéticas e é utilizada como sinônimo para o termo onda eletromagnética. Por exemplo, pode-se afirmar que uma lâmpada incandescente emite radiação eletromagnética e, com a mesma palavra, pode-se afirmar que a transferência de energia ocorre por radiação (LABVIRUTAL, 2016).

O descobrimento da existência de ondas eletromagnéticas é um capítulo muito interessante da história do conhecimento. No trabalho seminal de J. C. Maxwell na segunda metade do século XIX, não apenas se descobriu que a luz é um fenômeno eletromagnético, mas que outras formas de ondas eletromagnéticas deveriam existir. Anos mais tarde, em 1887, estimulado por tais previsões, H. Hertz demonstrou experimentalmente a existência dessas ondas, produzindo ondas de rádio. A utilidade tecnológica desse fenômeno foi prontamente vislumbrada. Até o final do século XIX a transmissão de voz via rádio já havia se desenvolvido consideravelmente. As tecnologias subsequentes, que dispensam apresentações, transformaram o estilo e a qualidade de vida da civilização no século XX (GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, 2016).

Graças aos avanços científicos nas primeiras décadas do século XX, sabe-se que as diferentes “radiações” que podem ser percebidas são manifestações do mesmo fenômeno eletromagnético, diferenciadas pelo comprimento de onda. É usual dividir o espectro eletromagnético (Figura 1) em faixas com comprimentos de onda e frequências definidas a cada tipo de onda eletromagnética. Pode-se situar também a radiação térmica no intervalo que compreende $10^{-1} \mu\text{m}$ a $10^2 \mu\text{m}$ para o comprimento de onda (LABVIRUTAL, 2016).

Figura 49. Espectro da radiação eletromagnética



Fonte: Disponível em:

<http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422>

Observa-se que a radiação visível está dentro do intervalo do comprimento de onda da radiação térmica, ou seja, é possível atribuir uma temperatura para essa faixa de espectro. Em 1800, o astrónomo William Herschel mediu a temperatura correspondente a cada cor do espectro, com auxílio de termómetros e um prisma, percebendo que a temperatura aumentava à medida que o termómetro se aproximava do vermelho e até mesmo depois na região escura. Essa região é correspondente à radiação infravermelha (MICHÁ, 2011).

A radiação térmica tem grande relevância no estudo introdutório da Física Moderna. O espectro da radiação emitida por um sólido aquecido, como é o caso de uma barra de metal incandescente, varia com a sua temperatura. A radiação visível, situada em geral no ápice do espectro contínuo, passa de uma cor avermelhada e vai se tornando mais esbranquiçada à medida que a temperatura se eleva, ou seja, o ponto de máximo migra para comprimentos de onda menores e a frequência para valores maiores com o aumento da temperatura do corpo sólido (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

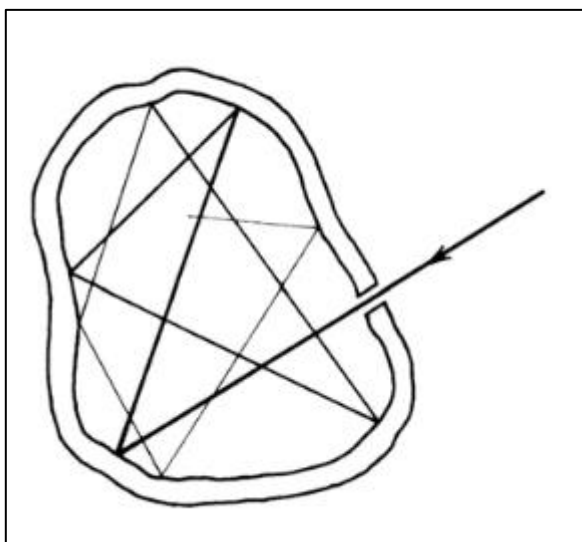
No início do século XX, a incompatibilidade entre os resultados previstos pela Física Clássica e aqueles obtidos experimentalmente em laboratório para corpos aquecidos estimulou a busca de novas teorias, as quais levaram ao conceito primordial de quantização de energia, como será discutido a seguir.

1.2. Corpo Negro

É comum associar um corpo negro a um corpo pintado de cor preta que absorve toda luz incidente sobre ele. Esta definição é uma aproximação, pois o corpo negro é, por definição, um corpo que absorve toda radiação nele incidente, ou seja, toda a faixa do espectro eletromagnético, e que não é capaz de refletir essa radiação (MEDEIROS, 2010). Todavia, é interessante que um exemplo real para tal situação é a fuligem (ou negro de fumo, que é carvão amorfo), encontrada em chaminés (HEWITT, 2002).

Considerando-se um pequeno orifício em uma cavidade (Figura 1.2), a radiação que nele entra dificilmente sairá. Assim é possível considerar uma concavidade com um orifício como sendo um corpo negro, pois toda radiação nele incidente será absorvida. Um *absorvedor* eficiente é também bom *emissor* de radiação, conceito proveniente da Lei de Kirchhoff que diz respeito ao equilíbrio térmico (BAHIANA, 2016). Assim, quando aquecida, a cavidade emite energia radiante em um espectro (ou seja, uma distribuição de intensidades em função da frequência da radiação) típico de um corpo negro.

Figura 50. Modelo de corpo negro.



Fonte: BAHIANA (2016).

Desse modo, no estudo das radiações, considera-se o problema do irradiador ideal por meio do estudo do absorvedor ideal. Em teoria, essa radiação entra pelo orifício e permanece aprisionada, sofrendo infinitas reflexões dentro da cavidade.

No equilíbrio térmico, a emissão de radiação e é igual a absorção a (NOVO, 2014).

$$e = a \quad (1.1)$$

Ou ainda:

$$\frac{e}{a} = 1 \quad (1.2)$$

Considerando-se dois corpos em equilíbrio térmico entre si, sendo um deles um irradiador ideal – corpo negro (1), e outro não ideal (2), tem-se:

$$\frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = 1 \quad (1.3)$$

Tratando-se de um corpo negro (1), sua absorção é maior se comparada ao outro corpo que não é negro (2).

$$a_1 > a_2 \quad (1.4)$$

E também:

$$e_1 > e_2 \quad (1.5)$$

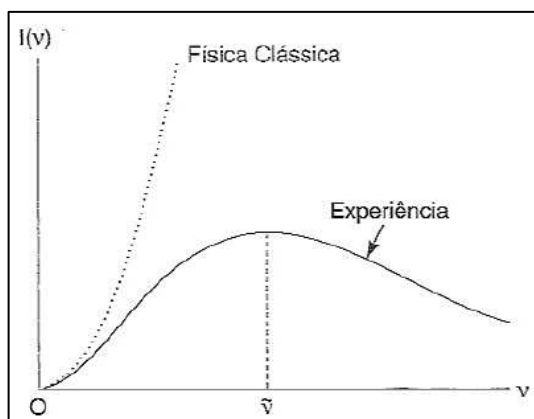
Ou seja, corpos negros são melhores absorvedores e emissores de radiação. A absorvidade a é igual a 1 ($a = 1$) e sua refletividade r para um corpo negro é nula ($r = 0$), daí sua denominação (BAHIANA, 2016).

Rayleigh e Jeans desenvolveram, em 1877, a teoria da radiação de corpo negro com base nos avanços da Física no século XIX, em especial a teoria atômica,

o eletromagnetismo de Maxwell, a estatística de Maxwell-Boltzmann e os experimentos em espectroscopia de Kirchhoff e Bunsen (NUSSENZVEIG, 1998).

A Figura 1.3 representa a distribuição espectral da radiação térmica prevista na teoria Clássica, de Rayleigh-Jeans, e aquela obtida experimentalmente, correlacionando a intensidade (I) em função da frequência (ν).

Figura 51. Distribuição espectral da intensidade de radiação térmica I em função da frequência ν .



Fonte: NUSSENZVEIG, 1998.

O modelo de Rayleigh e Jeans previa que a potência irradiada pelo corpo negro depende do quadrado da frequência da radiação, representado na Figura 1.3 como a curva prevista pela Física Clássica. Assim, embora o resultado concorde bem com frequências baixas, para frequências altas a equação obtida com base na teoria Clássica sugeria que a intensidade de energia emitida seria infinita. Esse efeito é chamado de “Catástrofe Ultravioleta”, pois o ponto de divergência está nessa faixa do espectro eletromagnético (NUSSENZVEIG, 1998).

Com o objetivo de sanar a incompatibilidade entre a teoria Clássica e os resultados experimentais, em 1900 Max Planck apresentou um modelo sobre a emissão de energia por um corpo negro, no qual introduziu a ideia de *quantização de energia*. De acordo com a proposta de Planck, a emissão de radiação não poderia ser considerada contínua, mas como se ocorresse em quantidades definidas de absorção/emissão instantânea, ou pacotes de energia, denominados de *quanta* (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Essa energia emitida em pacotes é diretamente proporcional à frequência da radiação ν :

$$E = h\nu \quad (1.6)$$

Onde $h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$ é a constante de proporcionalidade encontrada por Planck, e que leva seu nome.

Planck propôs a seguinte equação para a emissão espectral do corpo negro (TIPLER e LLEWELLYN, 2010):

$$I_\lambda = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1.7)$$

Onde c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann. Esta equação, conhecida como equação de Planck da Emitância Espectral, permite calcular a contribuição no espectro emitido à temperatura T para qualquer comprimento de onda λ . Nota-se que a emitância espectral é maior para corpos mais quentes, para qualquer comprimento de onda.

O valor de máxima emissão ocorre quando a derivada da Equação 2.7 em relação a λ for igual a 0:

$$\frac{dI_\lambda}{d\lambda} = 0; \lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (1.8)$$

Essa solução já havia sido empiricamente proposta por Wien, em 1893, e $b = 2,9.10^3 m.K$ é chamada de constante de Wien (TIPLER e LLEWELLYN, 2010). A equação de Planck se ajusta adequadamente aos resultados experimentais mostrados na Figura 1.3, embora, inicialmente, ele tenha considerado que a quantização era meramente um “artifício inconveniente”. Em 1905, A. Einstein demonstrou que a quantização da radiação visível é o fenômeno que explica o efeito fotoelétrico (MEDEIROS, 2010).

A solução encontrada por Planck tornou-se um marco divisório entre a Física Clássica e a Física Moderna. A constante de Planck está presente nos mais diversos fenômenos microscópicos, desde as equações que descrevem a arquitetura de

núcleos, átomos e moléculas, até o incipiente campo da quantização nos fenômenos biológicos.

Para se obter a emissão total de um corpo, soma-se as emitâncias em todos comprimentos de onda, tomando a integral correspondente à área abaixo da curva de distribuição espectral:

$$I = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda \quad (1.9)$$

A solução da equação (1.9) é conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, que, quando aplicada ao corpo negro, fornece a intensidade total de energia da radiação emitida I em função da temperatura da cavidade T .

$$I = \sigma T^4 \quad (1.10)$$

Onde $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann. Sendo I a potência irradiada P por unidade de área A , a equação de Stefan-Boltzmann pode ser escrita como.

$$P = \sigma \varepsilon A T^4 \quad (1.11)$$

Onde ε é a emissividade, que é igual à unidade para o corpo negro. Outros objetos irradiam mais lentamente, de modo que $0 < \varepsilon < 1$. Nesses casos, a emissão de radiação térmica depende de outros fatores tais como a cor e a composição da superfície, embora ela não dependa da temperatura (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Capítulo 2: Construção dos Cubos de Leslie

Para a realização dos experimentos, deverão ser construídos dois cubos de Leslie, sendo um Cubo de Leslie tradicional (Figuras 4 e 5) e outro modificado com suas faces internas pintadas de branco e preto alternadamente (conforme esquema representado pela Figura 6). Os cubos metálicos foram construídos em alumínio com espessura de 2 mm e receberam tampas elaboradas com o mesmo material, para se evitar perdas de calor por convecção, bem como um suporte de madeira para acomodar o microprocessador NXT e os sensores de temperatura.

Figura 52. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces fosca e preta.



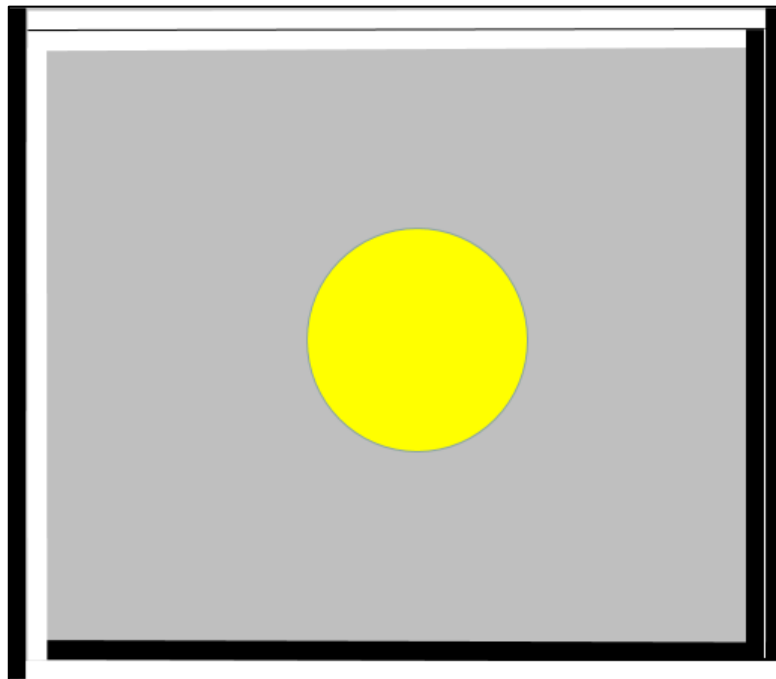
Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 53. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces polida e branca.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 54. Vista superior do Cubo de Leslie Modificado. As cores branca, preta, amarela e cinza representam as faces branca, preta, a lâmpada incandescente disposta no centro e o interior do Cubo Metálico, respectivamente.



Fonte: o autor

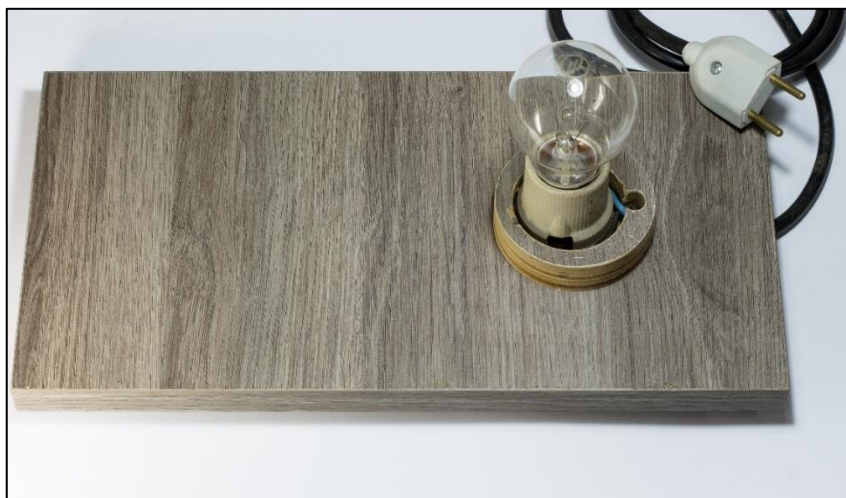
As bases dos cubos foram construídas em madeira com formato circular (Figura 7) para o encaixe no bocal da lâmpada incandescente, preso a base do conjunto construída em madeira (Figura 8). Um fio condutor foi ligado ao bocal para alimentar a lâmpada incandescente.

Figura 55. Detalhe da base do cubo metálico: Base feita em madeira com formato circular para o encaixe no bocal da lâmpada.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza.

Figura 56. Base em madeira para a lâmpada, o cubo metálico, o NXT e os sensores de temperatura.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

As Figuras 9 a 10 mostram, respectivamente, um dos cubos metálicos em sua base, com e sem a tampa de alumínio e o posicionamento do NXT e dois sensores de temperatura acoplados para a medida simultânea da temperatura de faces paralelas.

Figura 57. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



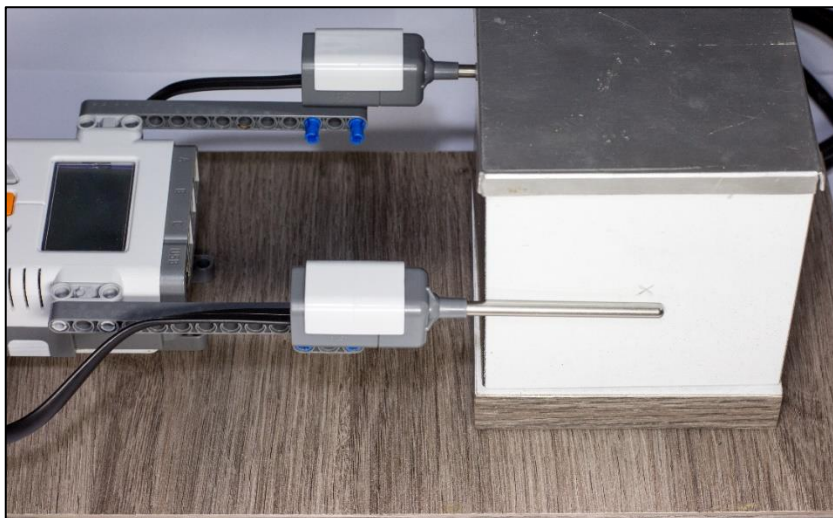
Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 58. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

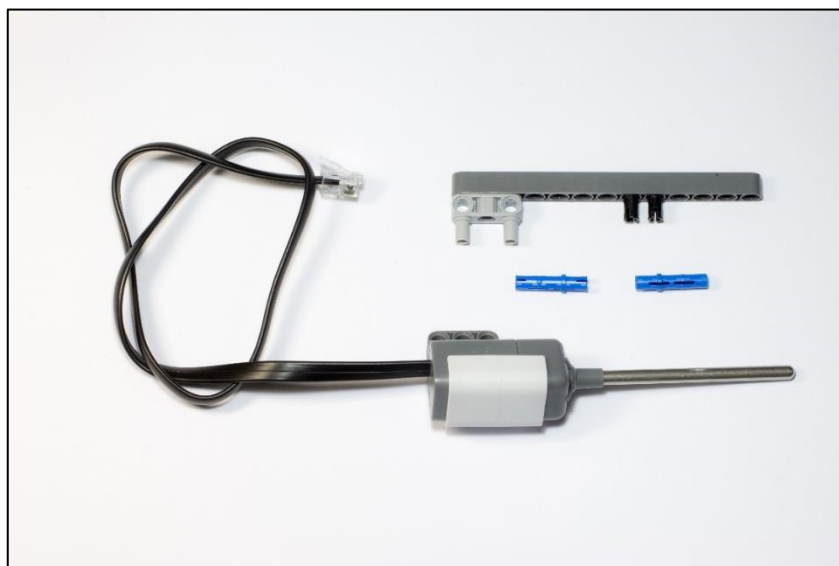
Figura 59. NXT e sensores de temperatura posicionados na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

A montagem dos sensores de temperatura no NXT (Figura 11) se deu por meio de duas barras de 11 unidades Lego® (sistema de medida próprio da marca), dois conectores e um adaptador, mostrados na Figura 12.

Figura 60. Materiais utilizados para a acoplar um dos sensores ao NXT e posicionar paralelamente a uma das faces do cubo metálico.

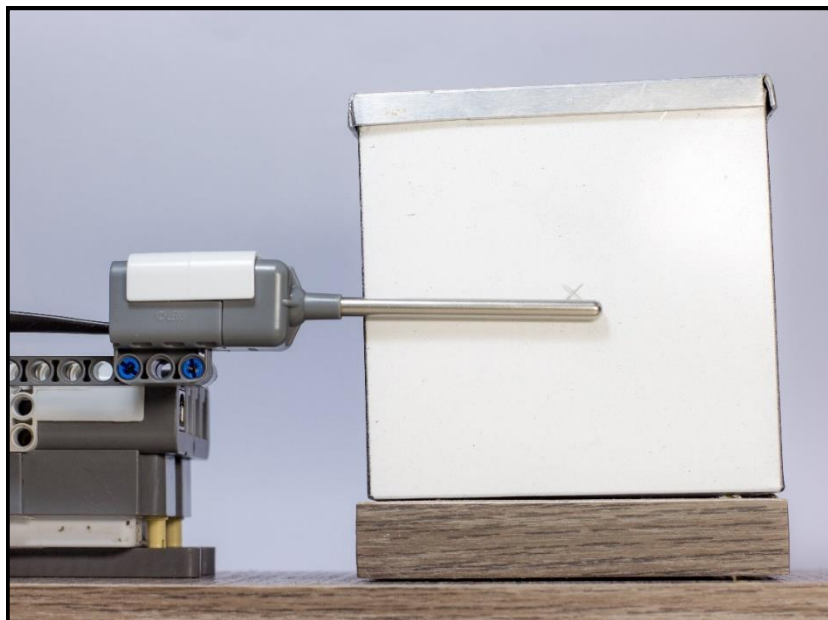


Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Por fim, a Figura 13 mostra a vista lateral do conjunto com a base, cubo metálico, NXT e sensores. Nota-se que com as peças do kit Lego permite a regulagem

de altura do NXT para que o sensor de temperatura fique posicionado aproximadamente a metade da altura do cubo metálico.

Figura 61. Vista lateral do conjunto.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

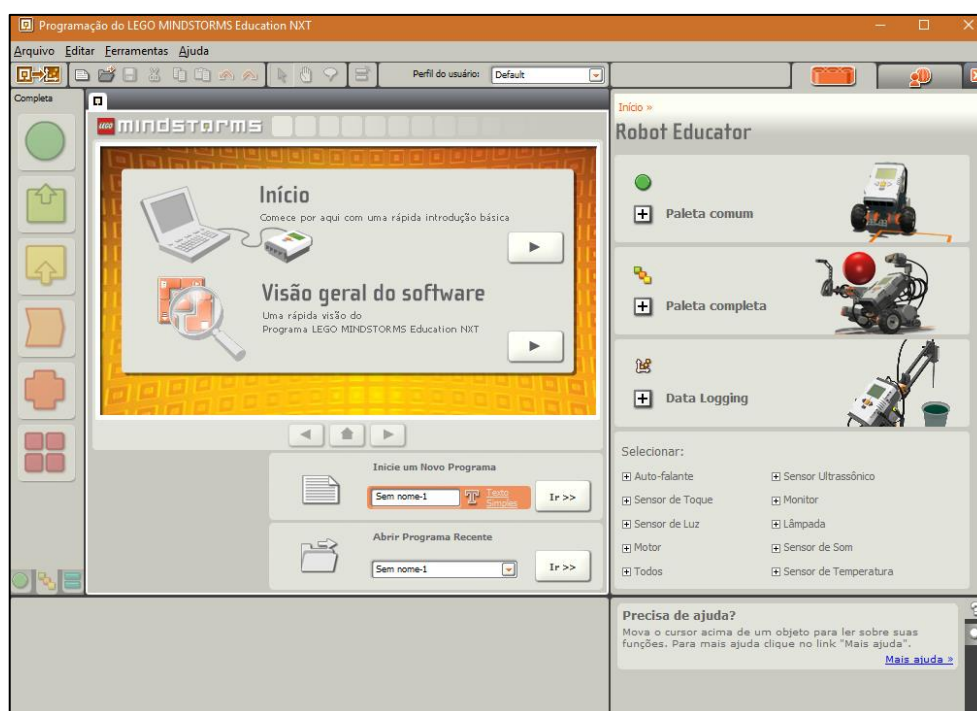
Capítulo 3: Programação do Experimento

Neste capítulo serão apresentados alguns detalhes sobre a programação do experimento, alguns resultados para os Cubos de Leslie tradicional e modificado, possíveis fontes de erros técnicos para o kit de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* e fontes de erros técnicos para a escolha da lâmpada incandescente do conjunto experimental.

3.1 Acesso ao software Lego NXT 2.0 Data Logging

A automatização do experimento é possível por meio do software Lego NXT 2.0 *Data Logging* (a versão comercial pode ser adquirida na internet gratuitamente pelo link <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/downloads>). O usuário irá acessar este software a partir do software NXT 2.0 *Programming* (Figura 14).

Figura 62. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Programming*.

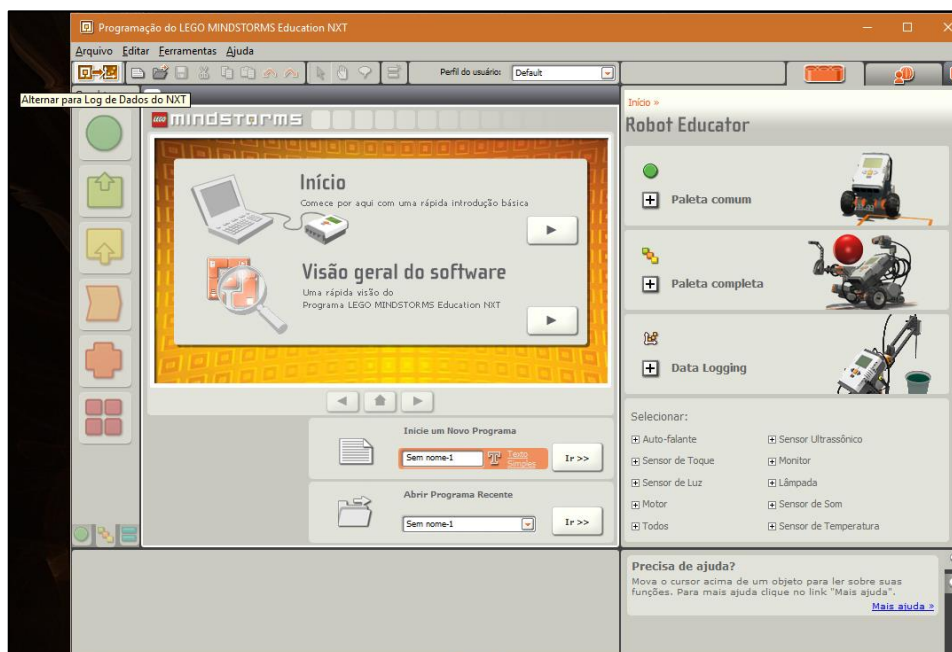


Fonte: o autor.

Ao selecionar a opção *Log de Dados* (Figura 15), que aparece sob a opção “Arquivos”, acessa-se o software Lego NXT 2.0 *Data Logging* (Figura 16). Com este

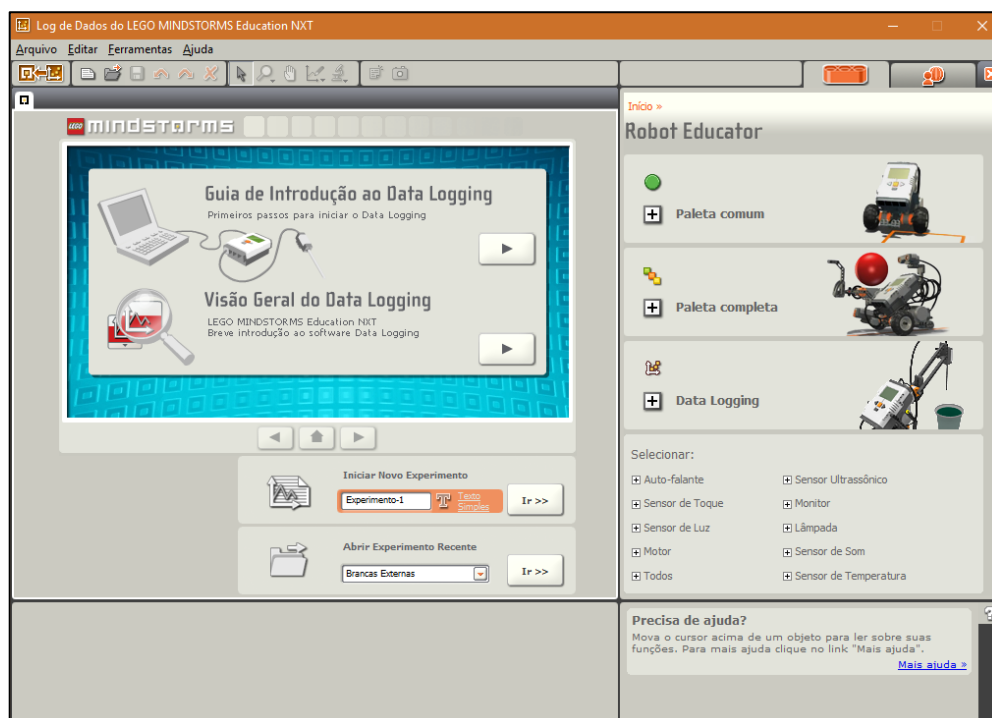
software é possível programar os sensores através das portas 1, 2, 3 e 4, indicadas na Figura 17, para a entrada de dados.

Figura 63. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Programming – Alternar para Log de Dados do NXT.



Fonte: o autor.

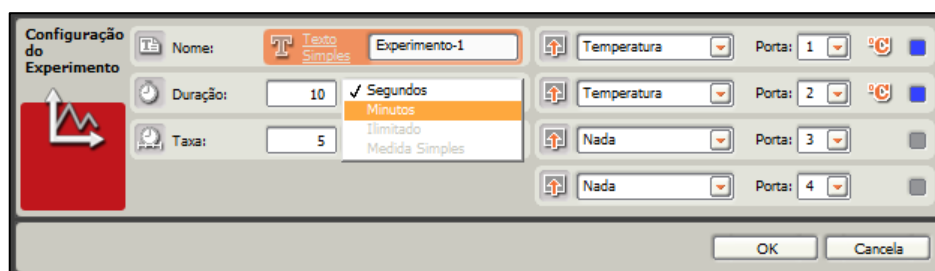
Figura 64. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging.



Fonte: o autor.

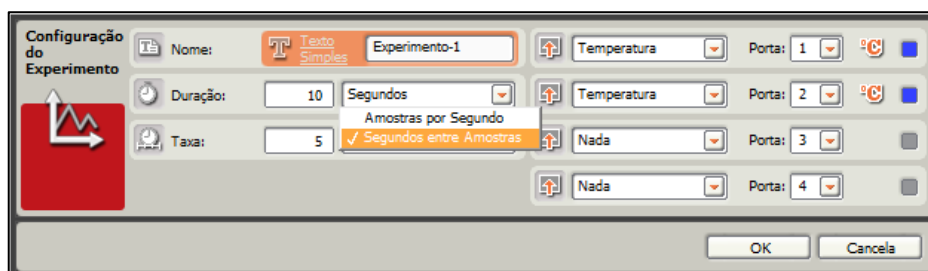
O Lego NXT 2.0 *Data Logging* permite o controle de experimentos a partir do tempo de duração (Figura 17), medido em minutos ou segundos, taxa de coleta de amostras que se pode configurar em 5 Hz (cinco amostras por segundo) ou cinco segundos entre cada amostra (Figura 18), e o tipo do sensor utilizado (Figura 19).

Figura 65. Configuração do tempo do experimento em minutos ou segundos.



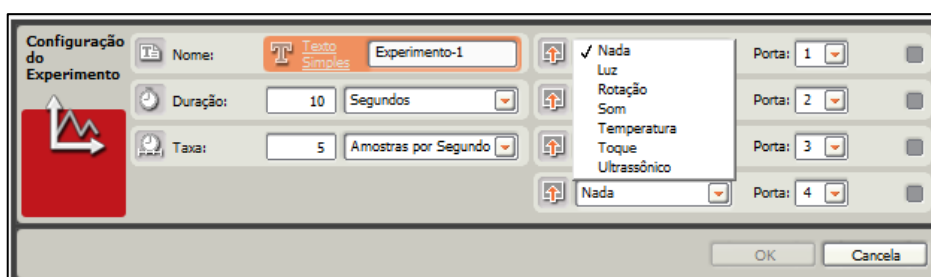
Fonte: o autor.

Figura 66. Configuração do número de amostras ou tempo entre o número de amostras.



Fonte: o autor.

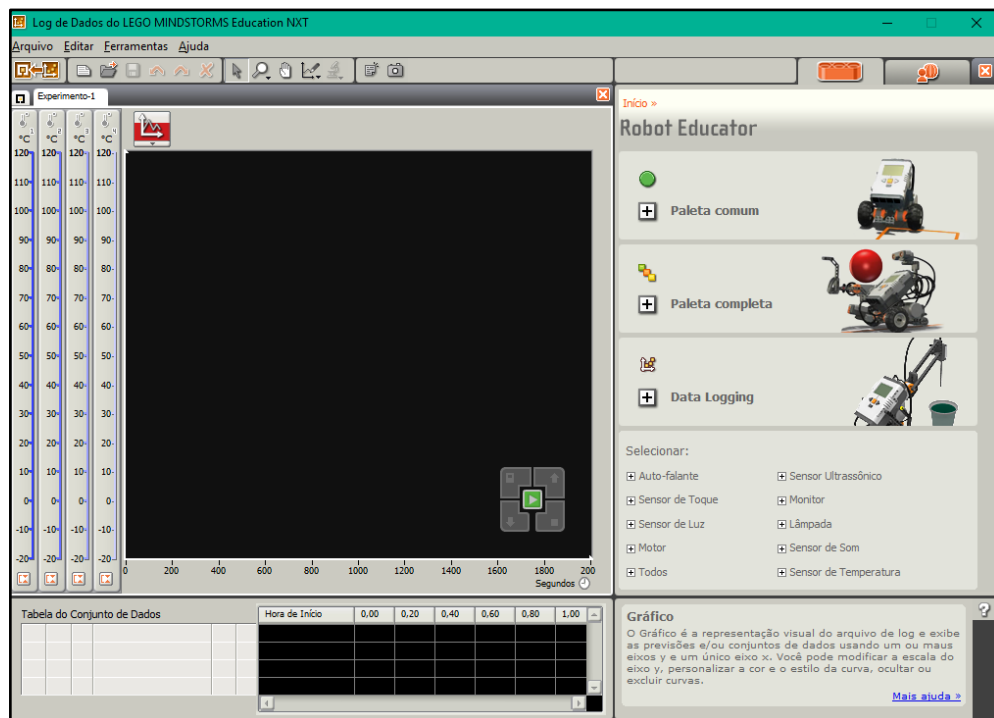
Figura 67. Opções de sensores para a programação de experimentos.



Fonte: o autor.

Como resultado, o *software* gera uma curva dos dados provenientes dos sensores em função do tempo programado. O exemplo da Figura 20 apresenta a programação simultânea de quatro sensores de temperatura, operando nos limites de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ em função de um tempo aleatório de 2000 segundos. É importante notar que o sensor de temperatura pode ser calibrado nas escalas Celsius e Fahrenheit, medindo temperaturas nos intervalos de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-4\text{ }^{\circ}\text{F}$ a 248.

Figura 68. Gráfico gerado pelo software Lego NXT 2.0 Data Logging.

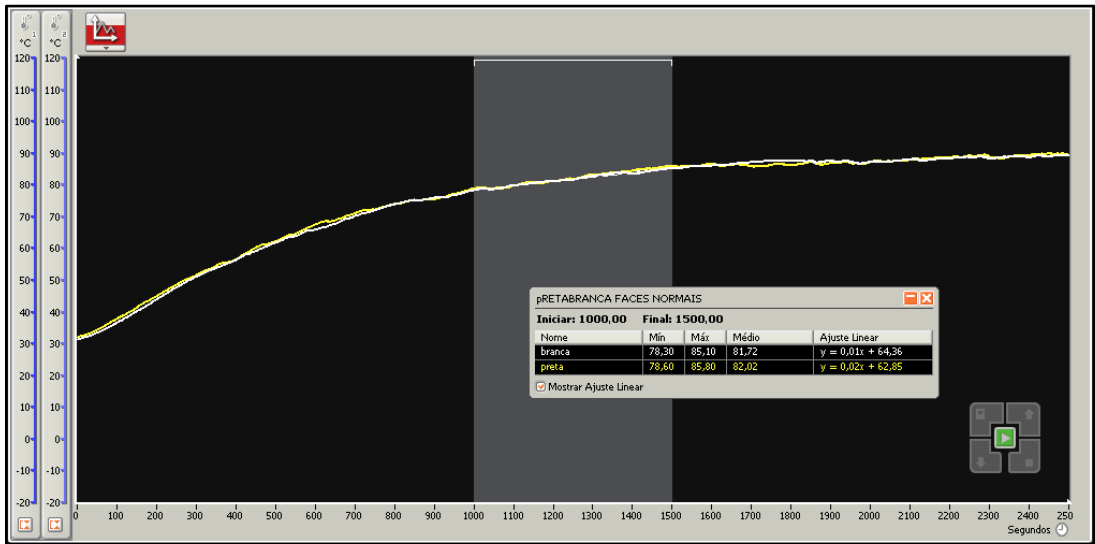


Fonte: o autor.

3.2 Resultados do experimento com os Cubos Metálicos

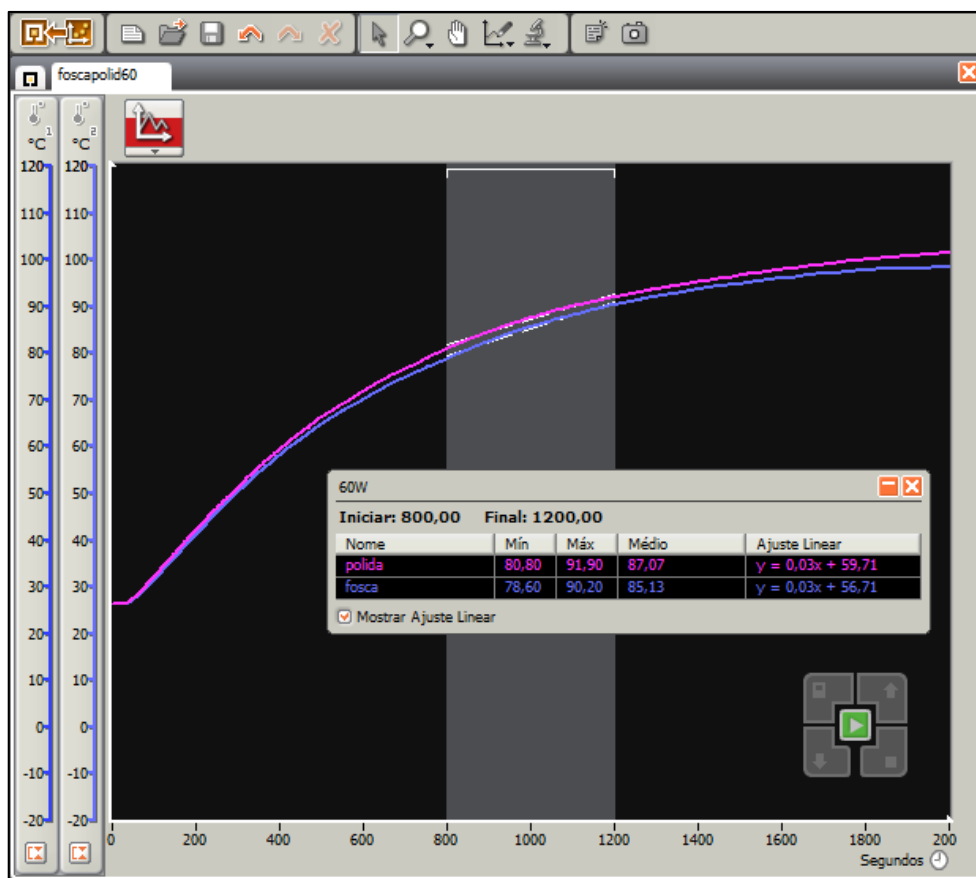
Os resultados obtidos para os cubos de Leslie tradicional e modificado podem ser visualizados nas Figuras 21 a 24. É interessante notar que as diferenças de temperatura para o cubo de Leslie tradicional (Figuras 21 e 22) são muito pequenas e podem ser associadas a erros de leitura e ao contato do sensor de temperatura na face, enquanto que para o Cubo de Leslie modificado (Figuras 23 e 24) as diferenças de temperatura são bem maiores devido à contribuição visível do espectro eletromagnético.

Figura 69. Tela de trabalho do software NTX 2.0 Data Logging, mostrando a curva de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces branca e preta do Cubo de Leslie tradicional.



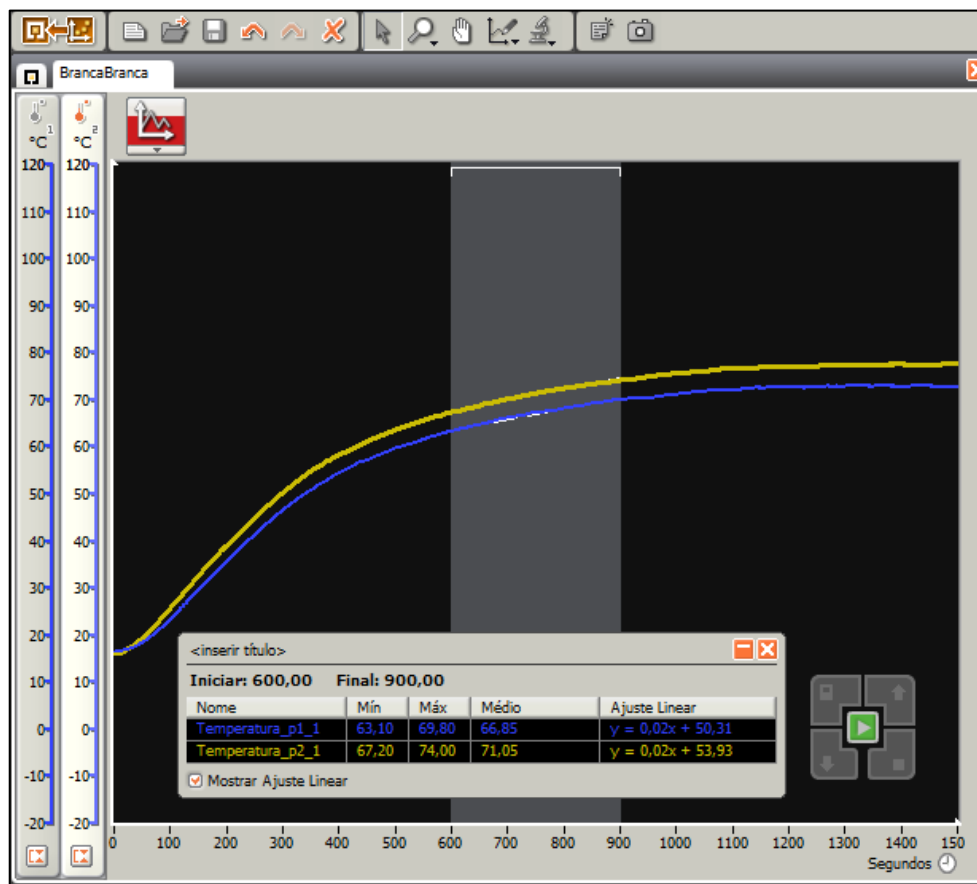
Fonte: o autor.

Figura 70. Tela de trabalho do software NTX 2.0 Data Logging, mostrando as curvas de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces polida e fosca do Cubo de Leslie tradicional.



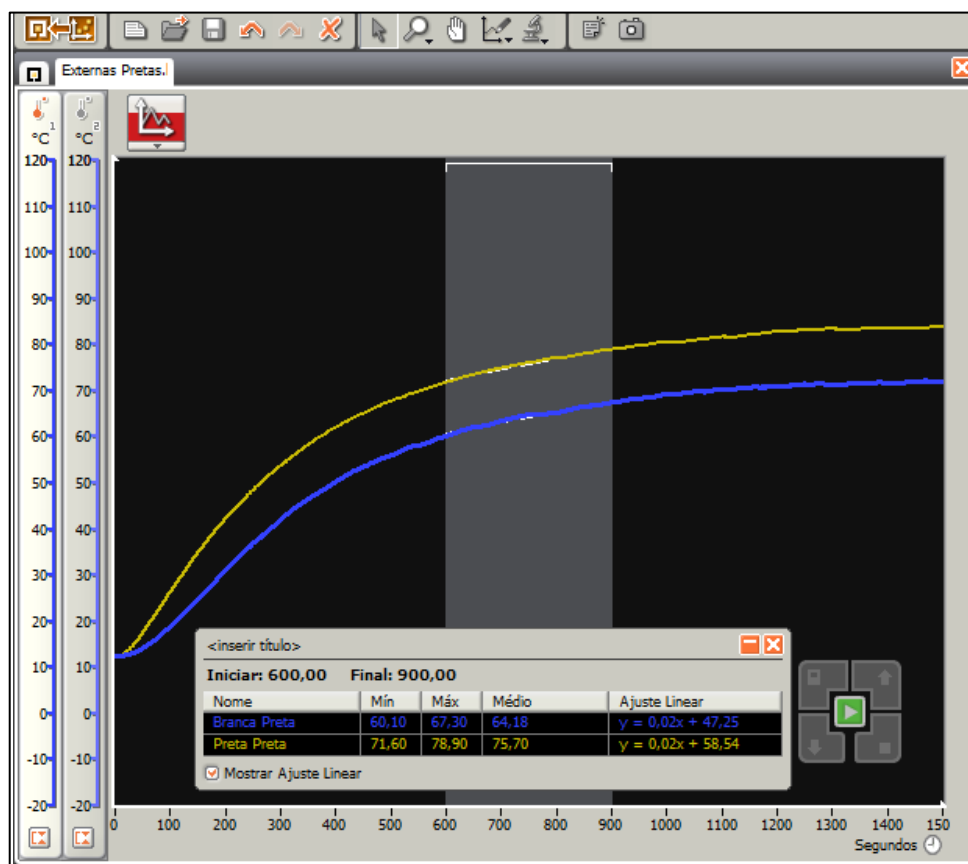
Fonte: o autor.

Figura 71. Tela de trabalho do software NTX 2.0 Data Logging, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Branca (externa), linha azul e Preta (interna) – Branca (externa) linha amarela do Cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

Figura 72. Tela de trabalho do software NTX 2.0 Data Logging, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Preta (externa), linha azul e Preta (interna) – Preta (externa) linha amarela, para o cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

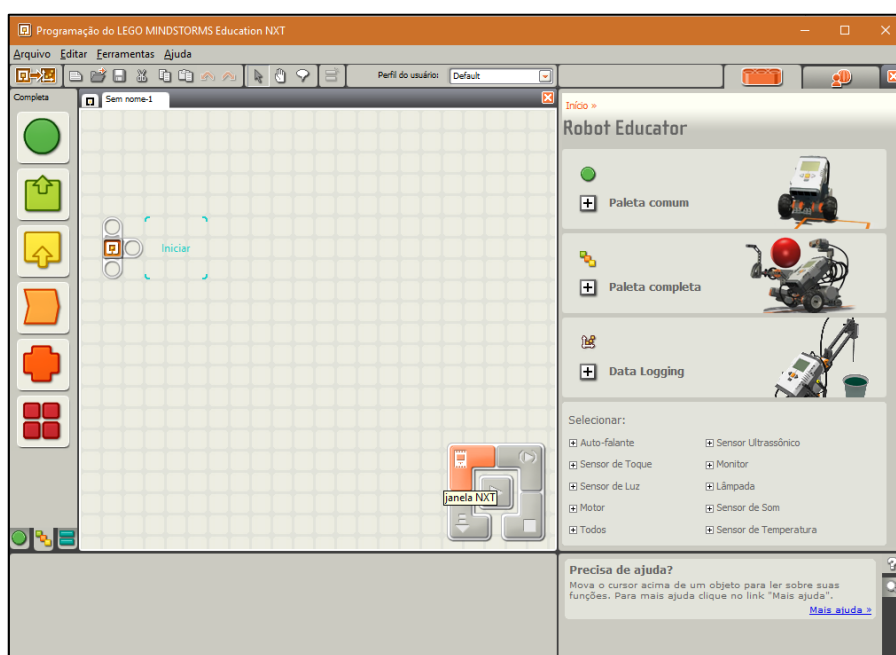
Pode-se observar que a diferença de temperatura é maior nas faces que são pintadas de preto internamente (Figura 24) em relação às faces pintadas de branco internamente (Figura 23). Isso se deve ao fato de que a cor preta retém a radiação em toda a faixa do espectro visível, enquanto que a face branca reflete esses comprimentos de onda. Sabendo-se que um bom absorvedor é um bom emissor, a temperatura das faces pretas é superior à das faces brancas.

3.3 Possíveis Erros Técnicos

3.3.1 Erros na transferência de dados para o NXT

Muitas vezes, ao se programar o experimento utilizando este *software*, os dados não são transferidos ao microprocessador NXT devido a sua limitação de memória. Podemos acessar a memória do NXT conectado ao computador pela tela de trabalho do *software* Lego NXT 2.0 *Programming* na opção “Janela do NXT” (Figura 25).

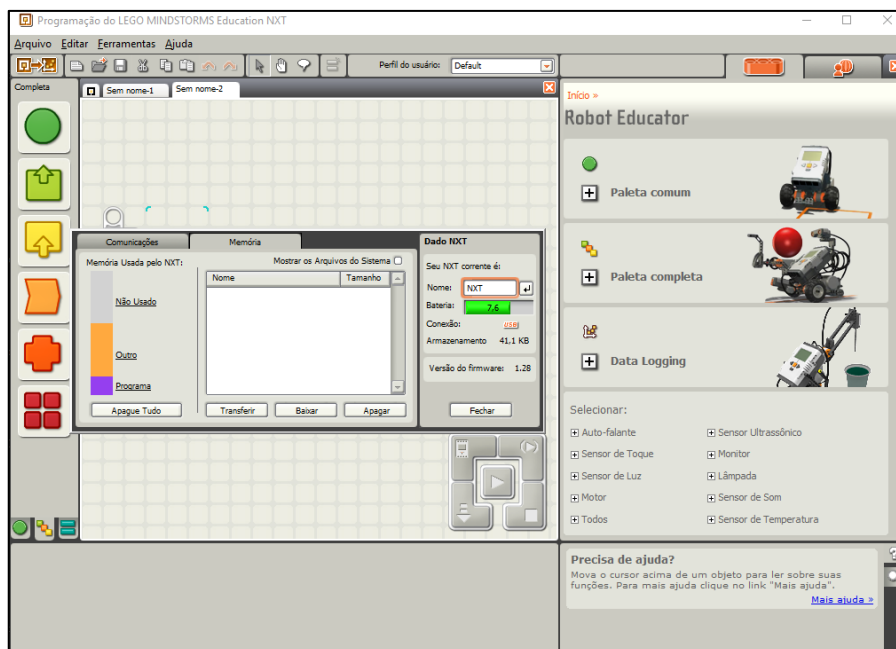
Figura 73. Tela de trabalho do *software* Lego NXT 2.0 *Programming* – Opção “Janela do NXT” para acesso à memória.



Fonte: o autor.

Uma nova janela abrirá (Figura 26) mostrando os níveis de memória do NXT disponíveis e opções como “baixar”, “memória” e “apagar”.

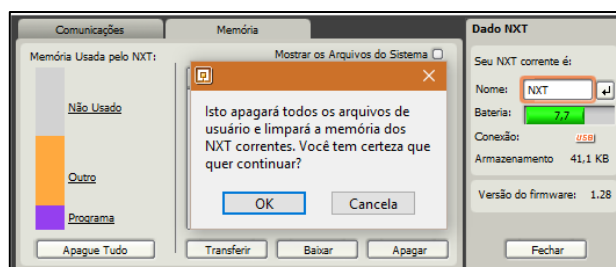
Figura 74. Tela de trabalho do *software* Lego NXT 2.0 Programming – Níveis de memória do NXT.



Fonte: o autor.

Selecionando a opção “apague tudo” (Figura 27), uma nova caixa de diálogo será aberta, clicando na opção “ok” o usuário irá apagar todos os dados presentes no microprocessador NXT. Assim, será possível corrigir o erro e enviar a programação do experimento para que a leitura de dados dos Cubos de Leslie tradicional ou modificado inicie.

Figura 75. Caixa de diálogo – apagando todos os dados presentes no NXT.



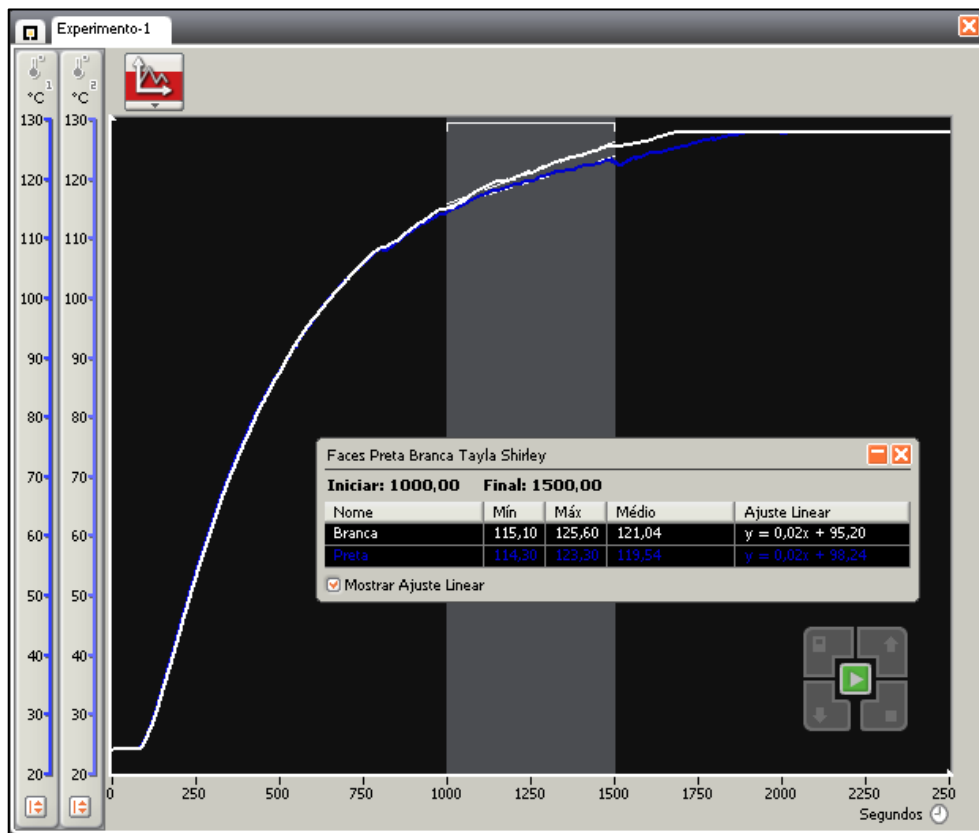
Fonte: o autor.

É importante salientar que muitas vezes o microprocessador deve ser reiniciado desligando-o e religando-o para que ele receba a programação realizada pelo *software* Lego NXT 2.0 Data Logging.

3.3.2 Erro na coleta de dados devido a limitações do sensor de temperatura

Para que os sensores de temperatura funcionem de maneira adequada, recomenda-se a utilização de lâmpadas incandescentes de potência até 60 Watts, pois a temperatura dos cubos ficará dentro do limite de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ que o sensor pode registrar. Lâmpadas incandescentes com potência de 100 Watts podem ultrapassar o valor de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, gerando um gráfico como o apresentado abaixo pela Figura 28.

Figura 76. Tela de trabalho do *software* Lego NXT 2.0 Data Logging, com os resultados obtidos para o Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 100 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.



Fonte: o autor.

É possível notar na figura acima que o sensor deixa de funcionar corretamente depois do tempo de 1600 segundos, pois a temperatura ultrapassa o valor de 120 °C. Assim não é possível visualizar a faixa que a face do cubo entra em equilíbrio térmico, pois as curvas são truncadas no valor máximo permitido

Capítulo 4: aplicação em sala de aula.

4.1 Radiação de Corpo Negro

Recomenda-se utilizar os Cubos de Leslie tradicional e modificado simultaneamente em sala de aula para a comparação e análise dos resultados com os alunos. O Cubo de Leslie tradicional apresenta temperaturas iguais para cada face, enquanto que o Cubo de Leslie modificado gera gráficos com temperaturas diferentes para cada face, pintadas interna e externamente de branco e preto, de forma alternada. Isso se deve à contribuição da faixa visível do espectro eletromagnético.

É interessante que as equipes não saibam que um dos Cubos de Leslie é modificado, tendo as faces pintadas internamente, para que mais discussões possam surgir devido à divergência dos resultados para cada conjunto experimental. As equipes de trabalho podem ainda utilizar um pirômetro (termômetro infravermelho) para acompanhar a evolução da temperatura das faces dos cubos metálicos.

4.2 Materiais utilizados

- Cubo de Leslie tradicional;
- Cubo de Leslie modificado;
- 4 sensores de temperatura;
- 2 NXT;
- Pirômetro de infravermelho;
- Barras e conectores Lego.

4.3 Aula 01: Montagem do conjunto experimental e programações

O professor deverá orientar os alunos a seguirem os passos de montagem e programação apresentados nos Capítulos 1 e 2 deste material. Um questionário pode ser aplicado para a introdução dos conceitos que serão abordados após o término da atividade.

4.3.1 Questionário inicial

Neste questionário, você irá responder as questões para fins de investigação inicial do seu conhecimento. Ao final dessa atividade, você responderá a um novo questionário para verificar seu avanço e aprendizagem enquanto ao conteúdo abordado nas aulas de Física.

01 – Qual a diferença entre Calor e Temperatura?

02 – Quais são os tipos de Transferência de Calor que observamos neste experimento? Faça uma síntese a partir dos conhecimentos que já adquiriu ao longo dessa Oficina de Aprendizagem.

03 – Como você pode explicar a diferença de temperatura de corpos pintados de Branco e Preto? Elas têm diferença? Se sim, por que isso ocorre?

04 – Existe relação entre a temperatura e o tipo de radiação emitida pela fonte de calor? Qual?

4.4 Aula 02: experimentação e análise dos resultados

Na segunda aula, os alunos realizarão o experimento e em seguida, farão o registro dos resultados respondendo outro questionário final a aplicação deste experimento. O professor deverá fazer a análise dos resultados junto com os alunos comparando os gráficos obtidos com o Cubo de Leslie tradicional e modificado.

Assuntos como a Radiação de Corpo Negro poderão ser introduzidos a partir dos resultados para o Cubo de Leslie tradicional e a contribuição visível do espectro eletromagnético com os resultados do Cubo de Leslie modificado. Equilíbrio térmico e emissividade poderão ser tratados analisando os resultados quando as curvas dos gráficos ficam constantes. A seguir apresenta-se uma proposta de questionário final da atividade.

4.4.1 Questionário Final

Agora você irá registrar os gráficos obtidos durante a experimentação e responderá algumas questões relacionadas ao desenvolvimento da atividade.

01 - Desenhe os gráficos da temperatura em relação ao tempo observados no experimento dos cubos metálicos.

Cubo de Leslie tradicional	Cubo de Leslie modificado

02 - Explique a diferença dos gráficos obtidos com o experimento. Os resultados foram iguais? Porque?

03 - Por que objetos expostos ao sol, ou muito próximos a uma lâmpada incandescente, se aquecem? O aquecimento do objeto será igual se a lâmpada for fluorescente ou de Led, com a mesma potência (mesmo valor em watts)?

04 - Considerando as formas de transferência de calor discutidas no início do bimestre, relacione-as ao experimento realizado com os cubos apontando onde cada tipo de transferência ocorre.

05 - Se aquecer uma barra de metal no fogo, o que acontece com ela? E se aquecer muito, como nas siderúrgicas?

06 - Se duas chapas de metal, uma branca e uma preta, forem expostas ao Sol, você sentirá a mesma sensação ao tocá-las? E se você medir sua temperatura, o que espera acontecer?

07 - Corpos pintados de cor preta, em geral apresentam temperaturas maiores que os pintados de cores brancas. Porque isso ocorre?

08 – Qual a definição de corpo negro? Podemos associar este conjunto experimental a este tipo de corpo?

Referências bibliográficas

BAHIANA, M. **Radiação de Corpo Negro**. Instituto de Física – UFRJ. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/>> Acesso em 29/05/2016;

BETZ, M. **Física do Século XX – A**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/iqindex.htm> Acesso em: 29/05/2016.

GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, UFSM. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/>>. Acesso em: 12/06/2016.

HEWITT, P, G. **Física Conceitual**. 9ª ed. São Paulo: ARTMED EDITORA S.A. 2002.

LABVIRTUAL. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_joomap&Itemid=128> Acesso em: 29/05/2016

MEDEIROS, W. H. **PRIMÓRDIOS DA FÍSICA QUÂNTICA: RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO**. UFR, 2010.

MICHA, D. N.et al. **Enxergando o escuro: a física do invisível**. Física na Escola, v. 12, n. 2, 2011.

NOVO, M. M. et. al. **Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade**. Cerâmica 60. p. 22-33, 2014;

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica – vol. 4**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998;

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica – vol. 4**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998;

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2010.