



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 29

JOSÉ DE SOUSA LEITE

**A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
POTENCIALMENTE SISTÊMICA COM O USO DA CONTAÇÃO DE HISTÓRIA**

MARABÁ – PA

2021

JOSÉ DE SOUSA LEITE

**A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
POTENCIALMENTE SISTÊMICA COM O USO DA CONTAÇÃO DE HISTÓRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), em cumprimento as exigências para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof^o. Dr. Jeânderson de Melo Dantas

Co-Orientador (a): Prof^a. Dra. Franciane Silva de Azevedo

MARABÁ-PA

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

Leite, José de Sousa

A radiação do corpo negro em uma sequência didática potencialmente sistêmica com o uso da contação de história / José de Sousa Leite ; orientador, Jeânderson de Melo Dantas, coorientador, Franciane Silva de Azevedo. — Marabá : [s.n.], 2021.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas – ICE, Mestrado Nacional em Ensino de Física – MNPEF, Marabá, 2021.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Didática. 3. Prática de ensino. 4. Ensino médio. 5. Radiação. I. Dantas, Jeânderson de Melo, orient. II. Azevedo, Franciane Silva de, coorient. III. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. IV. Título.

CDD: 22. ed.: 530.07

JOSÉ DE SOUSA LEITE

**A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
POTENCIALMENTE SISTÊMICA COM O USO DA CONTAÇÃO DE HISTÓRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), em cumprimento as exigências para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

DATA DA AVALIAÇÃO: ____/____/2021

CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA

**Prof^o. Dr. Jeanderson de Melo Dantas
(MNPEF – UNIFESSPA – Orientador)**

**Prof^a. Dra. Franciane Silva de Azevedo
(MNPEF – UNIFESSPA – Co-orientadora)**

**Prof^a. Dr. Narciso das Neves Soares
(MNPEF – UNIFESSPA - Membro Interno)**

**Prof^a. Dra. Maria José Fontana Gebara
(UFSCAR– Membro Externo)**

Dedicatória

À Lúcia Leite, auxiliadora idônea, mulher virtuosa, coração sábio e amor da minha vida. Ela é incansável, merece todos os aplausos. Esteve o tempo todo ao meu lado, leu, corrigiu, sugeriu e tornou-se o meu apoio linguístico. Portanto, esposa de oração, esposo campeão.

Aos trigêmeos, Davi, Samuel e José Lucas, os meus maiores milagres. Por um tempo, achei que não seria PAI. Porém, para cada letra do cargo (P-A-I), um filho. Essa é uma das maiores prova do amor de Deus por mim, cada pessoa da trindade me presentou com uma dádiva. Tudo começou assim. Deus sussurrou no meu ouvido e eu acreditei. Ele disse: “Eu honro quem me honra”. Portanto, pai que vive em comunhão, recebe tri-filhos no coração.

Aos meus pais, Nasareno Leite e Iraci Leite, as orações deles afastaram o inferno da minha presença e tornaram acessível o celeiro do céu. Pais de oração, filho de pé.

Agradecimentos

O pesquisador Thompson no livro Passaporte para a Promoção diz que “o sucesso é um trabalho em equipe e ninguém chega ao topo sozinho.” Isto significa que uma pessoa ingrata desconhece a contribuição do outro e de Deus nas suas conquistas.

Portanto, agradeço a Deus pelo poder, sabedoria e perseverança a mim concedida. Aos milagres experimentados e as oportunidades de ter a fé provada. À família, pelos estímulos de motivação: “você consegue”. Também pelo apoio material, psicológico e social de cada ente querido. Com efeito, vocês foram a minha grande inspiração.

Ao professor Dr. Jeanderson de Melo Dantas e Professora Dra. Franciane Silva de Azevedo pelos conselhos, desafios propostos e foco para desenvolver os trabalhos conforme os objetivos propostos. Mantiveram-se sempre preocupados em saber e conhecer o andamento da dissertação, e incansavelmente, colocando-se à disposição para ajudar. Com muita presteza, ajudou também na revisão e nas indicações literárias para fundamentação teórica.

Não poderia deixar de agradecer também aos colegas de sala de aula que participaram dessa jornada acadêmica. Vocês contribuíram muito com o meu crescimento intelectual e profissional. Assim, destaco os de maiores estima, respectivamente: Cláudio, Emerson, Álvaro, Luciana, Daniela, Midian, Anderson, Eudimar, Leandro, Claudiana, Jean e Vagno. E ainda, meu apreço ao professor Dr. Erico Novaes, que adotou uma postura ética, competente e sábia para ministrar uma disciplina do programa e coordenar o Programa de Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física na UNIFESSPA. Por fim, gratidão a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior), a SBF (Sociedade Brasileira de Física) e a UNIFESSPA pela oportunidade de participar de um programa de mestrado profissional.

Por fim, a todos que passaram pela minha vida acadêmica, profissional e pessoal. Tenho em minha memória um pouquinho de cada um de vocês. Concluo os agradecimentos com duas ideias: a primeira, Deus tem duas moradas, uma no céu e a outra nos corações ternos e agradecidos; e a última, gratidão é: 1 – a maior de todas as virtudes; 2 – memória do coração; 3 – vida.

“Os saberes não devem assassinar a curiosidade. A educação deve ser um despertar para a filosofia, para a literatura, para a música, para as artes.”

“Instigar a curiosidade da criança é a melhor forma de despertá-la para o saber.”

Edgar Morin

“A contação de histórias estimula o pensamento independente, desenvolve o raciocínio lógico, a criatividade e serve de alternativa para aumentar a motivação para o aprendizado, desenvolve também, a autoconfiança, a organização, a concentração, a atenção, o raciocínio lógico-dedutivo, o senso cooperativo, desenvolvendo a socialização e aumentando as interações dos alunos.”

Anna Lúcia Campos

“(...) levá-lo a criar textos, músicas e outras manifestações culturais, que não são recriações científicas, mas recriações pela Ciência. Em poucas palavras, é a Ciência se manifestando por meio de uma produção cultural.”

Gurgel e Watanabe

“O que me parece relevante é que, para melhorar a educação das nossas crianças, necessitamos de reelaborar os currículos e às técnicas de ensino (...), tendo em conta o seu pensamento imaginário a par com seu pensamento lógico-matemático.”

Kieran Egan

RESUMO

Faz-se urgente desenvolver e aplicar atividades educacionais que atendam a complexidade humana. Para tanto, deseja-se apresentar e aplicar a história do garoto Physis para ensinar o tema da Radiação do Corpo Negro. Assim, fica proposto a elaboração de uma sequência didática potencialmente sistêmica com o uso da arte narrativa sobre os conceitos, os problemas e os postulados do corpo negro. Desta maneira, defende-se o uso da teoria da Complexidade de Edgar Morin (2003) como fundamento dessa prática. Nela, Morin (2015) ensina sobre a necessidade de se romper com a educação fragmentada e recomenda a instigação da curiosidade dos discentes. Isto facilitará a formação física, cultural, social, psíquica e emocional dos sujeitos. Deste modo, ressalta-se que o trabalho foi permeado pela teoria do Pensamento Complexo de Edgar Morin, valorização da arte narrativa, utilização da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” e sequência didática aplicada aos alunos do 3º ano do ensino médio. A didática ocorreu em cinco etapas, cada uma composta de duas horas aulas (50 minutos cada hora aula) semanais, seguindo as recomendações e cuidados de proteção do novo coronavírus (COVID-19). Sendo que a última ocorreu de forma remota (google formulário) - resolução do questionário 3 (avaliação da aplicação do produto educacional). No decorrer das aulas, desenvolveu-se um diagnóstico (identificar os conhecimentos prévios), uma aula dialogada (power point), um momento de trabalho em grupo, socialização de ideias e dúvidas e, por fim, apresentações finais (maquete, encenação, flanelógrafo, fantoche, etc.). A teoria utilizada e a técnica de ensino referenciada se confirmou ser eficiente por meio das informações coletadas. Foi evidenciado que a arte narrativa torna o conteúdo escolar relevante, contagiante e impactante. Por outro lado, notou-se que o uso de arte narrativa como técnica de ensino se acha ausente no último seguimento da Educação Básica. Enfim, os resultados conferem ao professor de física mais uma opção para dinamizar e melhorar suas aulas.

Palavras Chaves: Arte narrativa, Ensino-aprendizagem, Sequência didática, Pensamento complexo, Radiação do corpo negro.

ABSTRACT

There is an urgent need to develop and apply educational activities that address human complexity. Therefore, we want to present and apply the story of the boy Physis to teach the theme of Blackbody Radiation. Thus, it is proposed to develop a potentially systemic didactic sequence with the use of narrative art about the concepts, problems and postulates of the black body. In this way, the use of Edgar Morin's theory of Complexity (2003) is defended as the foundation of this practice. In it, Morin (2015) teaches about the need to break with fragmented education and recommends instigating students' curiosity. This will facilitate the physical, cultural, social, psychological and emotional training of the subjects. Thus, it is emphasized that the work was permeated by Edgar's theory of Complex Thought, appreciation of narrative art, use of the story "The magical world of Physis with Lord Kelvin and the two little clouds" and didactic sequence applied to 3rd year students from highschool. The didactics took place in five stages, each consisting of two hours of classes (50 minutes each hour) per week, following the recommendations and care for the protection of the new coronavirus (COVID-19). The last one occurred remotely (google form) - resolution of questionnaire 3 (evaluation of the application of the educational product). During the classes, a diagnosis was developed (identifying previous knowledge), a dialogued class (power point), a moment of group work, socialization of ideas and doubts and, finally, final presentations (model, staging, flannelgraph, puppet, etc.). The theory used and the referenced teaching technique were confirmed to be efficient through the information collected. It was shown that storytelling makes school content relevant, contagious and impactful. On the other hand, it was noted that the use of storytelling as a teaching technique is absent in the last segment of Basic Education. Anyway, the results give the physics teacher one more option to streamline and improve his classes.

Keywords: Narrative art, teaching-learning, didactic sequence, complex thinking, blackbody radiat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa conceitual que contrasta o pensar linear e o pensar complexo	25
Figura 02: Mãos que trançam	26
Figura 03: Esquema de um corpo negro de laboratório	36
Figura 04: Modelo prático de um corpo negro	38
Figura 05: Representação da trajetória da luz solar ao sofrer dispersão em uma gotícula de água de chuva	38
Figura 06: Formação do espectro da luz, a partir da decomposição da luz branca, pela dupla refração que ela sofre ao entrar no prisma e ao sair do mesmo	39
Figura 07: Espectro visível de um corpo aquecido	40
Figura 08: Gráfico obtido experimentalmente por Fraunhofer em 1814	41
Figura 09: Espectroscópio fabricado no século XIX	42
Figura 10: Radiância espectral do corpo negro em função da frequência da radiação	43
Figura 11: Espectro de emissão do corpo negro	43
Figura 12: Superposição entre esses gráficos e o espectro da luz visível	44
Figura 13: Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência da radiação – temperatura de 1000 K, 1500 K e 2000 K	47
Figura 14: Radiância espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda λ e temperatura T	51
Figura 15: Curva de Rayleigh-Jeans apontando para uma intensidade infinita	52
Figura 16: Resultado teórico de Rayleigh-Jeans para radiação de um corpo negro comparado com o resultado experimental	53
Figura 17: Comparação da radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh-Jeans	54

Figura 18: Espectro de emissão do corpo negro para corpos com diferentes temperaturas	58
Figura 19: Espectros da radiação – a) de um corpo negro a 6000 K; b) solar fora da atmosfera terrestre; c) solar ao nível do mar	59
Figura 20: Comparação da curva da radiação emitida por corpo negro	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Lei de deslocamento Wien	50
Tabela 02: Abordagem de Planck e a Lei da equipartição da energia	55
Tabela 03: Equações de Planck e suas representações	57
Tabela 04: Etapas da aplicação do produto educacional	66
Tabela 05: Conteúdos a serem trabalhados/ ministrados com aplicação da arte narrativa	68
Tabela 06: Questão 9 do Questionário II	85
Tabela 07: Contrastes e evoluções acadêmicas dos participantes em relação aos principais conceitos de radiação do corpo negro	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 2 do Questionário I	76
Gráfico 02: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 3 do Questionário I	77
Gráfico 03: Resposta da pergunta 8 do Questionário I	89
Gráfico 04: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 1 do Questionário II ...	82
Gráfico 05: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 7 do Questionário II ...	84
Gráficos 06: Questão 8 do Questionário II	85
Gráfico 07: Pergunta 10 do Questionário II	86
Gráfico 08: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 11 do Questionário II	86
Gráfico 09: Resultado em porcentagem obtidos na pergunta 12 do Questionário II	

.....	87
Gráfico 10: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 1 do Questionário III	92
Gráfico 11: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 2 do Questionário III	93
Gráfico 12: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 3 do Questionário III	94
Gráfico 13: Pergunta 4 (cinco) do Questionário III	95
Gráfico 14: Pergunta 5 (seis) do Questionário III	96
Gráfico 15: Pergunta 6 (seis) do Questionário III	97

LISTA DE SIGLAS

BNCC: Base Nacional Comum Curricular

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CH: Contação de História

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCNs: Parâmetros Curriculares Nacionais

RCN: Radiação do Corpo Negro

SBF: Sociedade Brasileira de Física

SD: Sequência Didática

SI: Sistema Internacional de Unidades

TAS: Teoria da Aprendizagem Significativa

TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TICs: Tecnologias da Informação e Comunicação

UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UNIFESSPA: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Contação de história e aprendizagem	19
2.3 O Uso da arte narrativa no ensino de física.....	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1 Conceitos básicos	26
3.2 Pensamento Clássico.....	26
3.3 Pensamento Complexo	27
3.3.1 Operadores	27
3.3.2 Princípios	28
3.3.3 Saberes	29
3.3.4 Educação Sistêmica	31
4 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	33
4.1 Pensando o Problema do Corpo Negro	33
4.1.1 Irradiação térmica	35
4.1.2 O Enigma do Corpo Negro	36
4.1.3 Os Espectros	38
4.1.4 Catástrofe do Ultravioleta	44
4.2 Leis da Radiação da Cavidade	45
4.2.1 Leis de Kirchhoff	46
4.2.2 Lei de Stefan- Boltzmann	48
4.2.3 Lei de Rayleigh-Jeans	48
4.2.4 Lei de Wien	52
4.2.5 Lei de Planck	54
4.2.6 Distribuição de Planck e as Leis da Radiação do Corpo Negro	59
4.2.7 Radiação do Corpo Negro	62
5 METODOLOGIA	63
5.1 A Caracterização da Pesquisa e do Ambiente de Aplicação	63
5.2 Etapas da Sequência Didática	65
5.2.1 Primeira Etapa	66
5.2.2 Segunda Etapa	67
5.2.3 Terceira Etapa	69

5.2.4 Quarta Etapa	69
5.2.5 Quinta Etapa	70
5.3 Descrição do Produto Educacional	70
5.3.1 Referências e Apoio Literário	71
5.3.2 As dimensões do “Mundo mágico de Physis”	72
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
6.1 Discussões sobre a aplicação da sequência didática	73
6.1.1 Primeira etapa – Aulas 1 e 2	75
6.1.2 Segunda etapa – Aulas 3 e 4	79
6.1.3 Terceira etapa – Aulas 5 e 6	80
6.1.4 Quarta etapa – Aulas 7 e 8	81
6.1.4.1 Questionário II	82
6.1.5 Quinta etapa – Atividade remota	91
6.1.5.1 Questionário III	91
7 CONCLUSÃO	101
8 REFERÊNCIAS	103
ANEXOS/ APÊNDICES	

1 INTRODUÇÃO

Existe uma busca incansável no seio escolar por estratégias e ferramentas facilitadoras e potencializadoras de aprendizagens. A maioria dos professores tem interesse de conhecer as estratégias que podem despertar os alunos para o saber escolar.

Nesse sentido, fica evidente o interesse pela pesquisa, pois pretende-se elaborar uma proposta de intervenção na sala de aula que contemple e faça o engajamento entre professor e aluno, estudante e conteúdo, escola e cotidiano, física e cultura. Com isso, acredita-se que a utilização das artes e das variadas formas de comunicação e expressão, possibilitam a produção de conhecimentos.

Portanto, com o enfoque de apresentar uma inovação ou um novo engajamento para os estudantes nas aulas de física é que se insere nesse estudo o uso da narrativa com técnica de ensino (contação de história/ arte da narração/ arte narrativa) e a teoria da complexidade de Edgar Morin. Ou seja, tanto a estratégia de ensino como a teoria, serão utilizadas para potencializar a aprendizagem do conteúdo radiação do corpo negro.

Por conseguinte, vale esclarecer ao leitor, nesse momento, que ao longo do texto as expressões arte narrativa, arte da narração e contação de histórias são utilizadas como sinônimas. Acredita-se que é desnecessário fazer a seguinte diferenciação: contação de história (utilizada para se referir a ferramenta de ensino exclusiva da educação infantil) e arte narrativa/ arte da narração (utilizada para se referir a ferramenta de ensino exclusiva dos demais seguimentos educacionais). Ou melhor, narrando ou contando uma história os resultados escolares poderão ser produtivo, significativo e positivo para os estudantes.

Para tanto, o interesse pela arte narrativa iniciou com as experiências pessoais, profissionais e familiares. Pois, a maioria dos trabalhos que realizei como tutor de professores ou palestrante, sempre foram acompanhados de boas histórias e ilustrações, algumas criadas e outras com pequenas adaptações.

Deste modo, ressalta-se que os livros Rubem Alves e Celso Antunes sempre me chamaram a atenção, pois são bem recheados de experiências escolares, parábolas e metáforas. Por outro lado, a educação paterna e materna que recebi (durante a infância ouvi muitas histórias do sertão nordestino e bíblicas), mostraram-

me que contar e ouvir histórias facilitam a aprendizagem, estimula o pensamento e desenvolve a concentração.

Por outro lado, vale dizer, que a escolha do conteúdo radiação do corpo negro é fruto dos trabalhos realizados no programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MPNEF) da Universidade Federal Sul e Sudeste do Pará e, teve como origem, as provocações promovidas pelas disciplinas Fundamentos Teóricos da Aprendizagem (Prof. Dr. Narciso Soares), Marcos Teóricos da Física (prof. Dr. Erico Novais) e Mecânica Quântica (prof. Dr. Edney Granhen).

Ainda, nessa linha de pensamento, ressalta-se e traz a memória o personagem mais conhecido na cultura ocidental, a figura de Jesus Cristo, que conforme pesquisadores da literatura bíblica, por exemplo, Augusto Cury (2010), destaca que sua principal ferramenta de ensino era uso de parábolas ou criação de ilustrações/ arte narrativa. Essas histórias brotavam do cotidiano das pessoas e eram utilizadas na ministração de seus sermões ou mensagens de vida. Muitos atribuem e vinculam o sucesso de seus ensinamentos a essa estratégia pedagógica (CURY, 2010; PRICE, 1980).

Dessa forma, a didática de contar, ler ou ouvir histórias poderá proporcionar aos discentes a construção de saberes e conhecimentos de forma lúdica, prazerosa e significativa. Assim, acredita-se que essa estratégia pode e deve ser aplicada ao ensino de Física.

Por conseguinte, busca-se fazer uso da arte narrativa para desenvolver a aprendizagem da radiação do corpo negro nas turmas do 3º ano do Ensino Médio da Educação Básica. Assim, considera-se que a ensinagem desse conteúdo através da contação de histórias possibilitará a criação de um ambiente contagiante, estimulador e produtivo para o aluno.

Para tanto, ressalta-se ainda, que a pesquisa está pautada no protagonismo do aluno, inovação da dinâmica escolar do ensino de física e visão progressista de inserção da Física Moderna na Educação Básica. Com isso, destaca-se a resistência ou exclusão da Física Quântica das propostas da Educação Básica. Desta maneira, reconhece-se a importância da ciência do início do século XX (Max Planck e outros) fazer parte da escola do século XXI.

Nesse contexto, menciona-se que foi construído um produto educacional para ensinar, aprender e apreender o tema da radiação do corpo negro no ensino médio. E neste, propõe-se usar a história “O mundo mágico de Physics com Lorde Kelvin e as

duas nuvenzinhas”. A aplicação ocorreu através de uma sequência didática com a abordagem da Teoria da Complexidade defendida por Edgar Morin (2015). Assim, a presente prática foi aplicada aos estudantes do 3º ano do ensino médio.

A escola em que foi realizada a proposta, têm muitos desafios, como muitas outras, pelo planeta. Pode-se citar os seguintes: problemas estruturais, pedagógicos, financeiros e materiais. Disto, presume-se que a maioria dos professores brasileiros não conseguem ser inovadores, criativos e ousados para utilizarem o que existe ou está disponível para tornar o ensino-aprendizagem atrativo, acessível e compreensível.

Com isto, torna-se importante esclarecer que no exercício docente com as turmas de 9º ano (Ensino Fundamental II) e Ensino Médio (1º, 2º e 3º ano) com a disciplina de Física, tem-se observado o desinteresse dos alunos pelas aulas. Nisto, vale comentar sobre o que se ouve na sala e nos corredores da escola. Os estudantes dizem que não gosta das aulas de física, pois estão cheias de cálculos e conceitos abstratos.

A partir desse convívio e olhar inquiridor, fica evidente a prática consolidada do trinômio: cuspe, giz e quadro. Nesse modelo de ensino, o professor explica, mostra as fórmulas, entrega uma lista de exercícios, faz a correção e cobra as mesmas questões em uma prova no final do bimestre. Desta forma, vale dizer, que só isso não é suficiente para produzir conhecimentos pertinentes.

Ainda, nessa linha, vale lembrar o famoso fato pedagógico do professor Eric Mazur¹ que constatou através de testes na própria Universidade de Harvard que não existia diferença entre os rendimentos médio dos universitários da área de física nos seguintes grupos: turmas com professores premiados; as classes com professores de classificação muito baixa; e por fim, professores com turmas pequenas (até 20 estudantes). Enfim, é mais um diagnóstico de que uma aula convencional (passiva) e unilateral (independentemente da forma como professor ensina) não produz conhecimento.

1 “Mazur é professor de Física e Física Aplicada na Harvard University desde 1984.” (Fonte: <https://www.usp.br/imprensa/?p=51279>) “Em 1991, (...) *insatisfeito com o aprendizado de seus alunos*, resolveu mudar a forma como ensinava e aboliu a transmissão de conteúdos na sala de aula. A experiência se tornou um método, batizado de *peer instruction* (aprendizado entre pares), (...).” (Fonte: <https://www.insper.edu.br/noticias/o-homem-que-inverteu-a-sala-de-aula-antes-da-tecnologia/>)

É baseado nesse sentimento de insatisfação que essa pesquisa se sustenta. Desde de 1991 que Mazur resolveu mudar a forma de ensinar, criou o método denominado de *aprendizado entre pares*². Assim, busca-se uma maneira significativa, como Eric Mazur, de pensar o ensino de Física.

Sendo assim, cita-se Bonadiman e Nonenmacher (2007, p. 196 e 197) que ao tratar sobre a preocupação com o ensino de física e a imagem que as pessoas têm da mesma, faz as seguintes observações:

O que se observa é que, de um modo geral, nas escolas de nível médio, se aprende pouco da Física e, o que é pior, se aprende a não gostar dela. O contato em sala de aula com esse novo componente curricular torna-se uma vivência pouco prazerosa e, muitas vezes, chega a constituir-se numa experiência frustrante que o estudante carrega consigo por toda a vida.

Para tanto, essas situações problematizadoras provoca a busca das respostas para essas questões que envolvem a falta de aprendizagem. Diante disso, todos estes fantasmas devem fazer os docentes, os discentes e os pais a repensarem a escola, a sala de aula e o ensino de Física.

Deste modo, a presente pesquisa, torna-se relevante, pois propõe a inserção da temática radiação do corpo negro na Educação Básica através da arte da narração. Por fim, defende-se que o currículo e as metodologias do ensino de Física precisam passar por uma revolução ou quebra de paradigmas, pois o modelo vigente é linear e não complexo.

Deste modo, vale destacar, que a pesquisa baseou-se em dois problemas: Como o professor de física poderá criar um ambiente contagiante e potencializador para ensinar radiação do corpo negro (RCN)? Em que sentido a arte narrativa pode ser uma ferramenta eficaz de dinamização do processo de ensinagem? Assim, acredita-se que os estudos de Edgar Morin (2000, 2003, 2015), Betty Coelho (2001), Gurgel e Watanabe (2017), João Zanetic (2005, 2006) e Kieran Egan (1994) podem ajudar na solução das inquietações.

Deseja-se, propor às escolas a utilização da arte narrativa como estratégia ou caminho para atrair, desenvolver e criar apetite pelos saberes e pelas descobertas que a física proporciona ao aluno. Por isso, buscou-se desenvolver um produto

² Como diz o próprio autor "(...) a formação por pares faz é colocar a parte fácil da educação – a transmissão da informação – para fora da aula, e a parte difícil – dar sentido à informação – para dentro." (Fonte: <https://www.insper.edu.br/noticias/o-homem-que-inverteu-a-sala-de-aula-antes-da-tecnologia/>)

educacional sobre a radiação do corpo negro em uma sequência didática potencialmente sistêmica com o uso da arte narrativa para facilitar e estimular a aprendizagem sobre a introdução da física quântica no ensino médio.

Em suma, a pesquisa perpassa por uma discussão rigorosa sobre a importância da arte da narração no processo de ensino-aprendizagem, a teoria do pensamento complexo, a radiação do corpo negro e a discussão crítica dos resultados. Enfim, como já foi dito, deseja-se fazer ponderações sobre metodologias de ensino, levantar questões, articular princípios e propor uma opção para ensinar e aprender sobre corpo negro no Ensino Médio (3º Ano).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contaçon de História e Aprendizagem

A construçon de saberes não ocorre independentemente do contexto cultural, social e histórico do sujeito. Quem ensina deve considerar todos esses elementos. Para Morin (2000, p. 36) o problema universal da educaçon do futuro é

(...) *inadequaçon* cada vez mais ampla, profunda e grave entre, de um lado, os saberes desunidos, divididos, compartimentados e, de outro, as realidades ou problemas cada vez mais multidisciplinares, transversais, multidimensionais, transnacionais, globais e planetários. (Grifo do autor)

Essa inadequaçon precisa ser revista pela comunidade educativa (pais, professores e alunos) e pelos governantes, pois a falta de correçon desta realidade tem provocado problemas seríssimos: evasão, reprovaçon e desinteresse dos estudantes.

Conforme Morin (2006), na Revista Nova Escola, ao ser questionado sobre a fragmentaçon do saber, destacou que, se a escola não mostrar as correlações entre os saberes, a complexidade da vida e problemas que existem (continuar isolando o objeto do meio e a parte do todo), todo trabalho de formaçon do estudante será insuficiente e ineficiente para sua preparaçon como cidadão do século XXI.

Com isso, vale citar que “a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informaçon se ancora em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz”, afirma Moreira (1999, p. 152), sobre aprendizagem significativa na perspectiva de Ausubel.

É urgente, repensar a escola e a sala de aula, o currículo e as metodologias de aprendizagem. Para a educaçon tornar-se pertinente, significativa e atrativa, o contexto, o global, o multidimensional e o complexo precisam ser evidentes nos espaços escolares (MORIN, 2000, p. 34).

Moreira (1999) ao discutir o conceito de ensino a partir de Carl Rogers faz referênci aos princípios de aprendizagem, deixando claro e explícito, que é natural do ser humano querer aprender e construir conhecimentos. Portanto, não faz sentido afirmar que determinado aluno é incapaz de dominar ou apreender certos conhecimentos.

Nessa vertente, o autor citado anteriormente, lista os principais princípios que devem ser considerados em qualquer processo de ensino e aprendizagem. São eles, resumidamente: seres humanos tem uma potencialidade para aprender; aprendizagem significativa é relevante e provoca modificações no sujeito (comportamento, personalidade, orientação e atitude); a aprendizagem envolve mudança na organização do eu, resistência e sua aquisição ocorre através de atos dos confrontações com os problemas práticos; a aprendizagem é auto-iniciada e envolve o aluno integralmente; a aprendizagem permite a experiência, a incorporação, a criatividade, autoavaliação e autocrítica.

Nesse contexto, cabe afirmar que narrar ou contar história podem ser ferramentas de excelência para construção de conhecimentos significativos. Segundo Diniz (2011) a contação de história ou leitura delas, facilitam a exploração da curiosidade, questionamento científico, imaginação e interesse pelo tema estudado.

A presente pesquisa considera a possibilidade de usar histórias que misturam conhecimentos científicos e imaginários como “pano de fundo” para tratar de temas complexos da Ciência e da Física Moderna. Dessa forma, acredita-se que essa prática ajudará na mediação e compreensão de conhecimentos abstratos (muito comum no ensino de Física).

2.2 O Uso da arte narrativa no ensino de física

Abre-se, um parêntese, através do pensamento de Viviane Mosé (2014, p. 33), no livro “As escolas e os desafios contemporâneos”, que as tumultuadas transformações do século XXI exigem um tipo de educação ou escola que rompe com os saberes separados (fragmentados e compartimentados), pois os dilemas atuais chegam em rede e afetam cada pessoa de maneira múltipla.

Nessa perspectiva, Morin (2015) compreende que o mundo contemporâneo passa por problemas complexos e a única forma de lidar com todos eles é através de uma postura inter-poli-transdisciplinar. Para o autor, é preciso tecer a *educação do amanhã* de forma a atender e responder aos problemas do mundo moderno.

Com isso, faz-se necessário os seguintes destaques:

Uma inteligência incapaz de perceber o contexto e o complexo planetário fica cega, inconsciente e irresponsável. Precisamos doravante aprender a ser, viver, dividir e comunicar como humanos do planeta Terra, não mais somente pertencer a uma cultura, mas também ser terrenos. Devemo-nos dedicar não

só a dominar, mas a condicionar, melhorar, compreender.” (MORIN, 2003, p. 14 e 76)

Esses pensamentos serão a base e o fundamento teórico desta dissertação de mestrado. As obras “Os sete saberes” e “A cabeça bem-feita”, resumem e propõem os principais pensamentos de Edgar Morin para a humanidade e a educação do futuro. Sua teoria, em síntese, apresenta-se através do conceito “Pensamento Complexo”, cujo significado (*complexus* do latim) que quer dizer “*aquilo que é tecido em conjunto*”.

Dessa forma, a arte da narração, pode ser um mecanismo de ensino que possibilitará a construção de conhecimentos. Com efeito, Araújo, Bravo e Rodrigues (2014, p. 84) afirmam que o uso da arte narrativa “[...] em sala de aula estimula a criatividade e a imaginação, o que facilita a aprendizagem [...]”.

O ambiente escolar está cheio e inundado de diversas realidades culturais. Assim, o professor tem a oportunidade de usar uma ferramenta comum para todas as culturas, famílias e sociedades. Trata-se de um recurso pedagógico adequado para o professor apresentar qualquer conteúdo escolar.

É uma prática cultura universal que antecede a escrita e que, ao mesmo tempo, pode ser uma das formas mais significativas de mediação pedagógica. Por isso, a mesma tem sido usado ao longo da história humana na transmissão de conhecimentos. Com efeito, pergunta-se: Quem é que não gosta de aprender algo através de uma história bem construída, atraente e contada?

Essa prática faz parte da vida homem desde o momento em que ele consolidou a linguagem. É fato que os primórdios transmitiam os conhecimentos de uns para com outros (especialmente de pais para filhos) através de boas e lindas histórias. (DOHME, 2005; COELHO, 2007)

A pedagogia da arte da narração atende aos requisitos de um processo educacional que corrige a fragmentação, o despedaçamento, a separação e a unidimensionalização da inteligência. Desta maneira, processa-se ensino-aprendizagem na sala de aula que estimula a compreensão, a reflexão, a multidimensionalidade e a integração de saberes.

Diante disso, Morin (2003, p. 116), no livro “A Cabeça bem-feita”, afirma: “Afinal, de que serviriam todos os saberes parciais senão para formar uma configuração que responda a nossas expectativas, nossos desejos, nossas interrogações cognitivas?”

Para tanto, narrar histórias, no ensino de física da Educação Básica, poderá criar uma situação eficiente de aprendizagem, permitindo introduzir o estudo de radiação do corpo negro nas turmas de 3º ano do Ensino Médio. Esse tipo de mecanismo didático provoca um trabalho inter-poli-transdisciplinar no seio escolar.

A partir da contação de história, o aluno constrói sua identidade e encontra-se dentro da própria cultura, cabe à escola promover o contato com a diversidade de culturas que possuímos no mundo, pois a literatura é mais que entretenimento é também uma arte que auxilia na transmissão de conhecimento de maneira prazerosa. (ARAÚJO; BRAVO; RODRIGUES, 2014, p. 85).

Com isso, fica evidente a necessidade de tornar o ensino e o conhecimento uma aventura mobilizadora de saberes e não uma condição de desestímulo de aprender a aprender. Portanto, ensinar através da arte narrativa, com ilustrações atuais, significativas e bom enredo, permitirá a construção de saberes na perspectiva do Pensamento Complexo.

Sabe-se que um dos papéis da escola é produzir aulas prazerosas, envolventes, contextualizadas e significativas. Por isso, o uso da arte narrativa como técnica de ensino. E ainda, conforme Torres e Tettamanzy (2008, p. 03), a didática de ouvir, ler, contar ou encenar histórias “agrada a todos sem fazer distinção de idade, classe social ou circunstância de vida.”

O professor precisa enxergar a contação de histórias como elemento de cunho educativo e que o ambiente escolar é propício e fértil para essa prática. Araújo, Bravo e Rodrigues (2014, p. 85) argumentam e defendem que o educador “(...) ao inserir a contação de história em sala de aula, ajuda o aluno a se identificar com a sua cultura e a conhecer outras culturas que, sem o auxílio da escola, talvez demorasse a ter contato.”

Para Egan (1994) o professor deveria se visto como “narrador dos nossos mitos”. Deste modo, ele poderia transmitir aspectos da realidade social, emocional e cultural em forma de história e, ao mesmo tempo, incluir conhecimentos sobre qualquer tema científico ou da vida cotidiana. Os que fazem educação deveriam prestar mais atenção nessa necessidade escolar. “A minha preocupação central é a coerência do que se ensina e o que é mais significativo para a criança.” (EGAN, 1994, p. 129)

Sendo assim, a narração de histórias ou leitura das mesmas ajudam no desenvolvimento, assimilação e construção de saberes dos estudantes. Dessa forma, concorda-se que essa prática ampliará os conhecimentos dos discentes.

Para Torres e Tettamanzy (2008) a contação ou leitura de histórias ajudam na aprendizagem, divertem, estimular a imaginação, educam, instruem, desenvolvem o raciocínio, revelam os interesses pessoais, aumentam o interesse pela aula, favorecem a compreensão de situações desagradáveis, permitem a autoidentificação e ajudam a resolver conflitos.

Além disso, cita-se de forma empírica que a inserção de histórias ou ilustrações no ambiente escolar amplia o vocabulário, potencializa a linguagem oral e desenvolve a escrita.

É preciso garantir experiências educativas melhores ao discentes da Educação Básica. O uso de “[...] história organiza o significado da realidade de forma simples. Podemos, com razoável segurança, utilizar o seu poder comunicativo para ensinar as crianças de forma mais eficaz.” (EGAN, 1994, p. 130)

“Aprender Ciência como manifestação cultural é impregnar o conhecimento de dimensões mais amplas, capazes de trazer outros olhares ao que é aprendido e promover articulação mais complexas com os saberes envolvidos nesses processos.” (GURGEL e WATANABE, 2017, p. 92) Esse processo tem sido chamado de aculturação pela literatura em ensino de Ciências. (COBERN e AIKENHEAD apud GURGEL e WATANABE, 2017)

Com isto, para o aluno se engajar e lidar com os saberes científicos o professor deve aproximar ciência e cultura, saber escolar e cultura. Essa aproximação pode ser feita através das narrativas. Como diz Gurgel e Watanabe (2017, p. 25 e 26) o uso de narrativas em sala de aula ajuda o professor “[...] apresentar o conteúdo da maneira mais compreensível ao aluno [...]” Permite “incluir os alunos na discussão, tornando a Ciência menos ‘estranha’ a eles.”³

Com isso, a contação ou leitura de histórias torna-se “[...] fonte de curiosidade, de espantos, de desejos e descobertas, numa dinâmica em que ela se socialize e se

³ “Histórias são diariamente usadas como meio de dar sentido e comunicar eventos no mundo. Filmes, livros, televisões e conversas do dia-dia são repletos de histórias.” (AVRAAMDOU, L e OSBORNE, J. **The Role Of Narratives in Communicating Science**. International Journal of Science Education, vol. 31, n. 12, 2009, p. 1686).

manifeste de forma ativa, cri(ativa), particip(ativa) em que qualquer situação [...]” destaca Jorge (2003, p. 97).

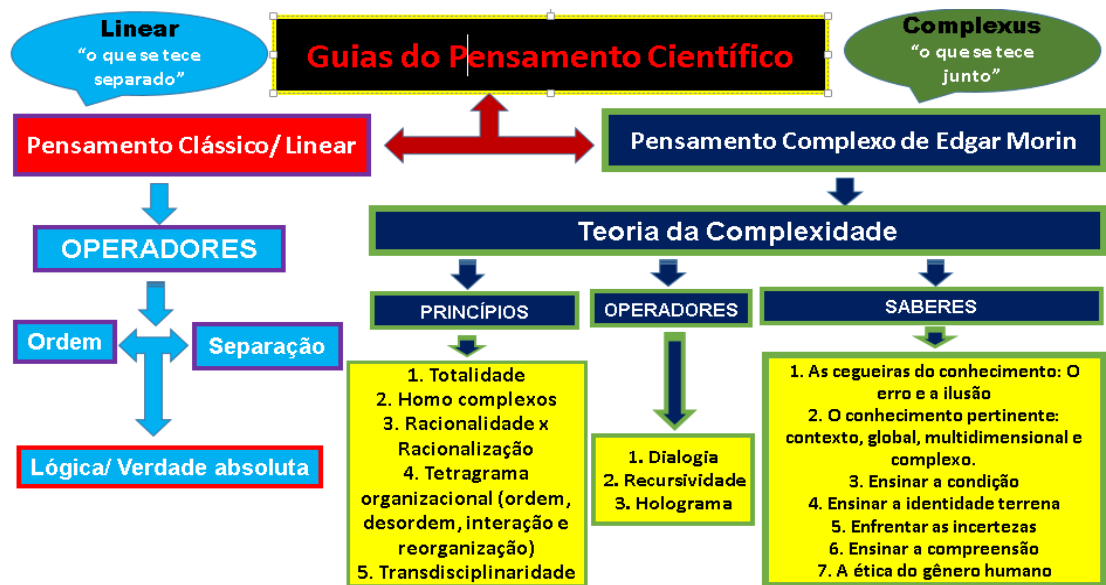
Diante disso, Egan (1999, p. 84) destaca que “a razão e a imaginação funcionam em conjunto.” Assim, a pedagogia da contação de história seduz o jovem-adolescente através da imaginação. Torna possível ensinar e aprender de forma mais significativa e cativante. Pode ser uma estratégia de ensino eficaz para o estudante ganhar segurança intelectual no campo da física.

Nisto, os argumentos anteriores desembocam, apoiam e consolidam a pedagogia da contação de histórias (PCH) como uma transposição didática eficiente que abre caminho para formação holística de cidadãos a partir da sua identidade complexa e totalidade de ser humano. Que conforme discute Morin (2003, p. 15) “[...] é a um só tempo físico, biológico, psíquico, cultural, social, histórico.”

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir de agora, o estudo deseja discutir e apresentar a Teoria do Pensamento Complexo de Edgar Morin e sua aplicação na Educação Básica. O objetivo é fazer uma descrição sintética a respeito do fazer didático construído sobre a plataforma do pensar complexo. Observe o mapa da Figura 01.

Figura 01: Mapa conceitual que contrasta o pensar linear e o pensar complexo.



Fonte: O autor (2019).

A figura 01 contrasta o pensar linear e o pensar complexo. Conforme o mapa acima, fica palpável ao leitor os elementos que constituem os operadores do pensamento clássico e do pensamento complexo. Assim, compreender os princípios e os saberes propostos por Edgar Morin, ajudará na construção de uma escola que supere as exigências da vida moderna.

O Pensamento Complexo desta pesquisa está fundamentado nas contribuições, pesquisas, ideias e estudos de Edgar Morin. Ele é o principal estudioso, arauto e divulgador atual desse pensar. Suas ideias provocam nos educadores a possibilidade de pensar e repensar suas práticas no seio escolar "[...] com o olhar para a religação dos saberes, para a superação do conhecimento fragmentado e para a compreensão da condição humana", como destaca Cassins (2015, p. 01).

Espera-se que as instituições de ensino compreendam e reflitam sobre a importância de ofertar uma formação integral que supram as necessidades dos

sujeitos que compõem a sociedade contemporânea. E que seja assegurado atividades pedagógicas potencializadoras e sistêmicas.

3.1 Conceitos Básicos

O significado etimológico da palavra complexidade (origem latina), provém de *complectere*, cuja raiz *plectere* e significa trançar, enlaçar”. Isso traz à tona e ao imaginário humano a fabricação artesanal de cestas que “consiste em entrelaçar um círculo, unindo o princípio com o final de pequenos ramos” (MORIN, 2003, p. 43).

Figura 02: Mãos que trançam



Mãos que trançam...

Fonte: <http://decoupagebyju.blogspot.com/2011/11/artesanato-brasileiro-cestas-e.html>

A figura ilustra que “(...) a educação deve promover a ‘inteligência geral’ apta a referir-se ao complexo, ao contexto, de modo multidimensional e dentro da concepção global” (MORIN, 2011, p. 36). Por outro lado, torna-se relevante, a partir de agora, identificar os principais operadores do pensar clássico, como também, pensar complexo.

3.2 – Pensamento Clássico

Conforme Araújo (2006, p. 131)

Torna-se mais fácil compreender a ciência após a delimitação das outras formas de conhecimento. Afinal, o conhecimento científico nasce da proposta de um conhecimento diferente dos demais, [...]. A busca de um conhecimento mais confiável da realidade [...].

A ciência surge do desejo de explicar, compreender e conhecer as coisas que cercam a vida e as questões humana. Assim, foi-se estabelecendo um projeto científico com diretrizes, orientações, operadores e guias para os pesquisadores e produtores de ciências.

Nessa perspectiva, vale mencionar os principais operadores do pensamento clássico: separação, lógica e ordem. Esses guias estão interligados e fundamentam a

forma de fazer ciência (até hoje) e também a maneira de conceber o processo educacional (atual).

Para Morin (1998, p. 01), “a ciência clássica se apóia nos três pilares da certeza, que são a ordem (estável, regular e constante), a separabilidade e a lógica (razão).” Essa atitude gerou a ruptura da ciência com as demais formas de conhecimento. Assim, o sensível, o sagrado, a imaginação, a arte e a percepção foram excluídas do denominado conhecimento verdadeiro. (ARAÚJO, 2006) Com isso, Morin (2015) tece a seguinte crítica a respeito dessa ciência da certeza absoluta, afirmando que “a grande descoberta do século é que a ciência não é o reino da certeza.”

Assim, a ciência clássica vem se deparando com a existência da contradição e do erro. Com isto, os seus operadores (lógica, separabilidade e ordem) começaram a se desmoronar. De resto, admite-se a necessidade de uma nova abordagem científica que considera os confrontos antagônicos, a circularidade, a percepção das aporias, a racionalidade aberta e a recursividade, “sem que para tanto precise renegar o valor da lógica, a dedução ou a indução”. (MORIN, 1998, p. 15)

3.3 - Pensamento Complexo

Para tanto,

Se tentarmos pensar o fato de que somos seres simultaneamente físicos, biológicos, sociais, culturais, psíquicos e espirituais, é evidente que a complexidade reside no fato de se tentar conceber a articulação, a identidade e a diferença entre todos estes aspectos, enquanto o pensamento simplificador ou separa estes diferentes aspectos ou os unifica através de uma redução mutiladora. (MORIN, 1999, p. 138)

A palavra complexo tem o sentido de “discutir sem dividir”, ou seja, "o que é tecido junto". Portanto, “pensar a complexidade é respeitar a tessitura comum, o complexo que ela forma para além de suas partes.” (MORIN, 1998, p. 15) Deste modo, destaca-se, que o pensar simplificador, separador e redutor não dá conta de explicar, dirigir e orientar a simultaneidade da realidade humana.

3.3.1 Operadores

Os principais operadores de complexidade são: Dialógico, Recursivo e Hologramático. O *dialógico* busca entrelaçar (certeza/ incerteza) os pares de elementos que teoricamente estão separados, tais como: razão e emoção; sensível e

inteligível; o real e o imaginário; a razão e os mitos; a ciência e a arte. Este operador desenvolve o comportamento de “dialogizar” e não fazer síntese da realidade e dos saberes produzidos.

A *recursividade* (causa/ efeito) aborda a ideia de que a causa produz um efeito e o efeito por sua vez produz uma causa. “Trata-se rigorosamente do problema da autoprodução e da autoorganização.” (Morin, 1999, p. 142). Conforme Schmidt e Orth (s/d, p. 05) “o princípio da recursividade tem um movimento em forma de espiral, cada começo é originado de um final anterior.”

O operador *hologramático* está além dos princípios de reducionismo (só vê uma das partes) e holismo (só vê o todo). Ele reconhece que o todo está nas partes e que as partes estão no todo (está ligado a ideia recursiva). Deste modo, “pode-se enriquecer o conhecimento das partes pelo todo e do todo pelas partes, num mesmo movimento produtor de conhecimento.” (MORIN, 2011, p. 75)

3.3.2 Princípios

O ensino e a aprendizagem deve ser pensado a partir da perspectiva do paradigma da complexidade, pois o modelo educacional vigente (clássico) desfigura a realidade, empobrece o sujeito e promove a inteligência cega. Por este motivo, entende-se que os métodos cartesianos

[...] ensinam a isolar os objetos (de seu meio), separar as disciplinas (em vez de reconhecer suas correlações), a dissociar os problemas, em vez de reunir e integrar. Obrigam-nos a reduzir o complexo ao simples, isto é, a separar o que está ligado; a decompor, e não a recompor; e a eliminar tudo que causa desordens ou contradições em nosso entendimento (MORIN, 2015, p. 15).

Deste modo, percebe-se que é importante compreender os principais princípios da teoria da complexidade, pois ajudará na formulação de uma educação que integra, religa, conecta-se à realidade e desenvolve a transdisciplinaridade. Do contrário, será impossível realizar a formação completa das pessoas.

Para tanto, identifica-se cinco princípios: 1) Totalidade; 2) Homo complexus; Racionalidade e racionalização; 3) Tetragrama organizacional; 5) transdisciplinaridade. A ideia da totalidade expressa a não dissociação da parte do todo e do todo da parte. Ou melhor, como expressa Morin (2003, p. 34), “o todo está na parte assim como a parte está no todo.”

O segundo princípio, o homo complexus, traz à tona a discussão teórica de que nós somos *homo sapiens sapiens demens*. Dessa maneira, cada pessoa é dupla:

sapiens (racional) e demens (demente). Somos simultaneamente racional com certa demência.

Sobre a racionalidade e a racionalização, cabe ressaltar que

A racionalização é fechada, a racionalidade é aberta. [...] uma doutrina que obedece a um modelo mecanicista e determinista para considerar o mundo não é racional, mas racionalizadora. A verdadeira racionalidade, aberta por natureza, dialoga com o real [...]; é o fruto do debate argumentado das ideias, e não a propriedade de um sistema de ideias. (MORIN, 2011, p. 22-23)

O tetragrama organizacional (ordem, desordem, interação e re-organização) é utilizado para explicar que ele está presente em toda realidade física, biológica e humana, ou seja, no universo e na formação do homem. Com isto, compreende-se que é na interação entre ordem e desordem que se estabelece a organização.

Para Morin (2002, p. 06) “qualquer atividade de sistema vivo é guiado por uma tetralogia. Tetra igual a quatro, ou seja, envolve relações de ordem, de desordem, de interação e de reorganização.” Isso significa que todo sistema experimenta o tetragrama organizacional: ordem – regularidade; desordem – desavenças, emergências; interação - interagir; reorganização – para onde o sistema vai.

Por fim, chama-se atenção para a transdisciplinariedade. Esse princípio pressupõe o abandono da utilização das disciplinas escolares separadamente, pois se isolam e discutem apenas seus territórios. Assim, torna-se necessário religar o que desligado e unir o que foi separado.

A visão cartesiana impõe o paradigma de separar a razão (racional) da desrazão (afetivo, psicomotor, outros). O século XXI exige que se religue tudo o que a ciência cartesiana separou, pois para problemas complexos exigem-se soluções complexas. É urgente estabelecer nos ambiente educacionais o pensar complexo. Elemento catalisador para boa prática educacional.

3.3.3 Saberes

O *primeiro saber* está vinculado ao fato de que “todo conhecimento comporta o risco do erro e da ilusão. A educação do futuro deve enfrentar o problema de dupla face do erro e da ilusão.” Ou seja, “[...] não há conhecimento que não esteja, em algum grau, ameaçado pelo erro e pela ilusão.” (MORIN, 2003, p. 19) Nunca foi tão necessário, como em nossos dias, preparar os sujeitos para fazer identificação dos erros, cegueiras e ilusões.

Sabe-se da existência dos erros mentais (a memória é falha, self-deception e falsas lembranças), erros intelectuais (resistir à informação), erros da razão (fechada em bases mutiladas ou falsas e nega-se a contestação de argumentos e a verificação empírica) e cegueiras paradigmáticas (os indivíduos conhecem, pensam e agem segundo paradigmas inscritos culturalmente neles). (MORIN, 2003, p. 21-27) Portanto, o sujeito do século XXI deve ter mente aberta, fazer autocrítica, ser reflexivo e apto a se autoreformar. Cada estudante deve alcançar a lucidez.

O *segundo saber* discute sobre a pertinência do conhecimento. Assim, torna-se fundamental pensar uma escola ou modelo educacional que situa tudo que ensina no contexto e no complexo planetário. “O conhecimento dos problemas chave, das informações chave relativas ao mundo, [...] O conhecimento do mundo como mundo é necessidade ao mesmo tempo intelectual e vital.” (MORIN, 2003, p. 35)

O *terceiro*, implica em ensinar a condição humana (cósmica, física, terrestre e humana). É preciso “situá-lo no universo e não o separar dele.” Esse trabalho recomenda questionar a posição de cada um no mundo. O agravamento da ignorância avança como uma “bola” de neve que só pode ser contida por uma proposta educacional que considere o ser humano ao mesmo tempo singular e múltiplo. (MORIN, 2003, p. 57)

O *quarto saber*, visa ensinar a identidade terrena, que perpassa pela compreensão de que todos somos habitantes do planeta Terra e cabe a cada um pensar e agir sob esse novo aspecto ou cidadania.

O *quinto*, por outro lado, diz que é primordial aprender e ensinar a enfrentar as incertezas, pois viver é uma aventura incerta. Sabe-se que não existem apenas inovações e criações. Existem também destruições. “[...] A história é um complexo de ordem, desordem e organização. Ela tem sempre duas faces opostas: civilização e barbárie, criação e destruição, gênese e morte...”. (MORIN, 2003, p. 82 e 83).

O *sexto*, prega e discute o problema da compreensão. Neste, diz-se que a finalidade da educação do futuro é ensinar a compreensão. Para Morin (2003, p. 93) “nela encontra-se a missão propriamente espiritual da educação: ensinar a compreensão das pessoas como condição e garantia da solidariedade intelectual e moral da humanidade.”

Por fim, o *sétimo* pressupõe uma educação que promove a “antropoética”. Significa enxergar o ser humano (carrega uma tripla realidade) ao mesmo tempo como indivíduo, sociedade e espécie. Trata-se de uma formação para a cidadania terrestre,

a concepção de comunidade planetária (democracia) e a tomada de consciência de nossa Terra-Pátria.

3.3.4 Educação Sistêmica

Para Teixeira (1968, p. 60)

Aprender não significa somente fixar na memória, nem dar expressão verbal e própria ao que se fixou na memória. Desde que a escola e a vida não mais se distinguem, aprender importará sempre em uma modificação da conduta humana, na aquisição de alguma coisa que reaja sobre a vida e, de algum modo, lhe enriqueça e aperfeiçoe o sentido.

Trata-se de um ensino e aprendizagem em que se observa um aluno protagonista, sala de aula viva e contextualizada, currículo amplo, projetos que atendem os interesses e as demandas dos estudantes e, por fim, um processo educacional que zela pela formação de pessoas livres e capazes de viver com sabedoria e aceitação do diferente.

Uma possibilidade para tal, seria o uso da técnica de ensino denominada de arte narrativa. Qualquer conhecimento escolar trabalhado com informações desconexas e práticas tradicionais faz um desserviço na formação integral do sujeito.

No DCNs (2010, p. 18) estão previstos processos educacionais que buscam a formação humana plena e a construção da pessoa em suas múltiplas dimensões. Isso significa que “é preciso trazer a escola para a vida da criança e que sua vida aconteça dentro da escola.” (Cassins, 2015, p. 04) “O ato de aprender depende de uma situação real de experiência e de um ambiente eficaz” (TEIXEIRA, 1968, p. 43).

Todavia, isso só será possível através de uma reforma do pensamento. É fundamental que ocorra o abandono do paradigma cartesiano. Ele separa o saber da realidade e o sujeito do objeto - fragmentando os conhecimentos e criando as hiperespecializações. Sabe-se que o processo educacional brasileiro é caracterizado pela fragmentação e recorte das disciplinas. Essa forma de organizar a escola impossibilita apreender “o que está tecido junto”, ou seja, o complexo (MORIN, 2011, p. 38).

Para Cassins (2015, p. 08)

A compreensão do todo fica comprometida e os conhecimentos desarticulados. A escola ensina a separar, fragmentar, isolar os conhecimentos, sendo difícil estabelecer relações entre os objetos de estudo, entre as ciências, entre os fatos e a própria vida.

Disto, duas ideias ficam como balizadoras do pensamento pedagógico: 1) uma cabeça bem-feita vale mais do que uma cabeça bem cheia; 2) estimular o emprego e o desenvolvimento da inteligência geral (olhar a totalidade e valorizar o contexto). Infelizmente, quando o professor não provoca a produção de conhecimento, mata a curiosidade do aluno.

“Todo conhecimento deve contextualizar seu objeto, para ser pertinente. [...] O novo saber, por não ter sido religado, não é assimilado nem integrado.” (MORIN, 2011, p. 43 e 44). A escola precisa estabelecer a relação entre o conteúdo e sua aplicabilidade. É imprescindível aos professores fazerem uso do mundo real como ponto de partida e chegada para o processo de construção dos saberes.

Os estudantes ficam reféns e presos aos encaminhamentos didáticos que se limita a transmissão de informações que podem ser acessadas e estudadas com mais qualidade na internet, jornais e revistas. É preciso trabalhar para “[...] transformar a escola em um centro onde se vive e não em um centro onde se prepara para viver”. (TEIXEIRA, 1968, p. 45)

4 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Abordar o tema da radiação do corpo negro implica em discutir e elencar as leis de Kirchhoff, Rayleigh-Jeans, Wien, Stefan-Boltzman e Max Planck. E ainda, discutir as principais questões que envolvem o *problema do corpo negro*⁴. Como também, listar os elementos básicos que estão relacionados aos aspectos da física das radiações.

Desta forma, objetiva-se discutir os principais elementos que respondem e problematizam o *enigma do espectro da radiação térmica*⁵. Com isso, importa destacar que o texto se apoia na literatura disponível sobre o assunto e não pretende esgotar o conteúdo.

Assim, uma descrição sintética faz-se necessário sobre a história, os desafios, as investigações e as soluções matemáticas propostas para o enigma da distribuição das intensidades de energia do corpo negro. Desta maneira, adotou-se como ponto partida Gustav Robert Kirchhoff e ponto de chegada as hipóteses propostas por Max Karl Ernst Ludwig Planck para o problema do espectro da radiação.

4.1 Pensando o Problema do Corpo Negro

Nessa etapa, pretende-se discutir e pensar sobre irradiação térmica, enigma do corpo negro, espectros e catástrofe do ultravioleta. Essa apresentação ajudará contextualizar e dá sentido ao tema. Pois, é objeto deste capítulo fazer uma abordagem que valoriza a história por trás das ideias e as descobertas que causaram uma revolução conceitual no campo da física. Nas palavras de Gaspar (2010, p. 324) “vamos fazer uma abordagem um pouco diferente [...], dando prioridade à história das ideias e descobertas que revolucionaram a física do final do século XIX às primeiras décadas do século XX.”

Essa revolução conceitual começa na metade do século XIX com o mistério do éter e do espectro dos corpos aquecidos. Por outro lado, nota-se que foi na

⁴ Segundo Brennan (2006, p. 77) “havia, contudo, um problema com a teoria do corpo negro.” Nesse sentido, Quartuccio (2020) destaca que havia duas grandes nuvens escuras para o céu da física do final do século XIX: o problema do éter e dos corpos aquecidos.

⁵ Expressão utilizada por Gaspar (2010, p. 332) para apresentar e discutir o tema da radiação do corpo negro no livro *Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna* (Ensino Médio).

transição do século XIX para o século XX que ocorre um “dos mais extraordinários períodos da história da física.” (GASPAR, 2010, p. 324).

Para tanto, ressalta-se que durante o século XIX a iluminação noturna das grandes cidades europeias era feita com gás e energia elétrica. Porém, nesse contexto se buscava encontrar um material que melhor atendesse a demanda por luz. Com isso, “os físicos da época se depararam com um dos maiores desafios científicos daquele tempo: a compreensão do espectro de radiação emitido por corpos incandescentes.” (NUNES, 2019, p. 43)

Nesse período, um pensamento também se materializava: a física havia chegado ao seu máximo. Os comentários eram que não havia mais nada para ser descoberto. Assim, observa-se que

Ao fim do século XIX, acreditava-se que a física havia chegado ao seu máximo. Muitos físicos diziam que não havia mais nada para ser descoberto, a não ser preencher “algumas casas decimais”. Porém, alguns problemas ainda permaneciam sem solução. Por um lado, Michelson e Morley não detectaram nenhuma evidência de que existia o éter. Por outro lado, não havia explicação [...] *para um problema que permanecia forte no meio de estudos da termodinâmica. O que ocorre é que a superfície de corpos aquecidos emite radiação. A física clássica previa que a intensidade da radiação emitida teria de ser infinita, o que, logicamente, é um absurdo.* (QUARTUCCIO, 2020, p. 01, *itálico acrescentado pelo autor*)

Assim, o enigma do corpo negro⁶ passou a ser alvo das pesquisas de muitos físicos e químicos. Entretanto, na época não se tinha noção que a descoberta desse desafio científico provocaria mudanças na ciência, na filosofia e na vida das pessoas. E que a compreensão deste problema provocaria o surgimento da Física Quântica⁷.

Para tanto, segundo Quartuccio (2020, p. 01) “a maior parte de toda a física do século XIX estava bem descrita através da mecânica de Newton, do eletromagnetismo de Maxwell, da termodinâmica e da mecânica estatística de Boltzmann e outros.” Através dessas teorias, leis, teoremas e equações, praticamente todos os fenômenos descritos, existentes e observados poderiam ser explicados.

⁶ Gaspar (2010, p. 325) ao falar sobre a linha de pesquisa do final do século XIX denominada espectroscopia e o uso do espectroscópio nesse campo, destaca a respeito dos espectros de alguns elementos ou substâncias (hidrogênio, hélio, mercúrio e outros) que vinham sendo estudados que os “físicos e químicos enfrentavam o constrangimento de não serem capazes de dar nenhuma explicação para esses misteriosos valores de comprimento de onda ou frequência em que a luz se dispersava.”

⁷ Segundo Nunes (2019, p. 43) “a busca por respostas acerca da radiação por corpos incandescentes levou vários físicos da época a se dedicarem ao estudo experimental e teórico da radiação térmica. A análise dos estudos e a explicação teórica dos resultados experimentais trouxeram uma situação de muito difícil explicação, que culminou na hipótese de quantização da energia.”

Dessa forma, “muitos físicos acreditavam que não havia mais nada a ser descoberto. Porém, observações da radiação emitida por corpos quentes não estavam de acordo com a teoria.”

4.1.1 Irradiação térmica

Pode-se classificar a propagação de calor em três tipos: condução, convecção e radiação. A radiação térmica se caracteriza pelo transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas (ocorre no vácuo ou em meios materiais).

No século XIX, os cientistas acreditavam que o calor era um fluido denominado calórico. Esse fluido atravessava os corpos devido a diferença de temperatura entre eles. Deste modo, o deslocamento do calórico era classificado da seguinte forma: nos sólidos – acontecia por condução através dos espaços vazios da substância; nos líquidos e gases – acontecia por convecção através das próprias moléculas; na luz – acontecia por radiação através do ser hipotético éter⁸.

De certa forma, essas investigações, inquietações e pesquisas fizeram surgir no cenário científico muitos nomes com muitas contribuições para compreensão da radiação, tais como: o físico norte-americano Benjamin Thompson (conde Rumford), o físico suíço Pierre Prévost e o físico alemão Gustav Kirchhoff.

Nesse contexto, os experimentos de Thompson e Prévost demonstraram que um certo tipo propagação do calor (Radiação) ocorre tanto em meio material como também no vácuo. Com essas descobertas, abriu-se portas para as conclusões e as leis de Kirchhoff (1824-1887). Ele propôs em sua lei a respeito da radiação que “a razão entre o poder emissivo e o poder absorptivo de um corpo sólido, para radiações de mesma frequência, depende apenas da sua temperatura.”⁹

Os trabalhos de Kirchhoff foram fundamentais para descobrir, estudar e compreender a natureza da radiação e a compreensão íntima da matéria. Com isto, ele percebeu que o corpo negro absorve todas as frequências de radiação nele incidente e ao mesmo emite todas elas. Assim, o espectro da radiação de um corpo negro passa depender exclusivamente da temperatura. Por outro lado, estudá-lo ficou

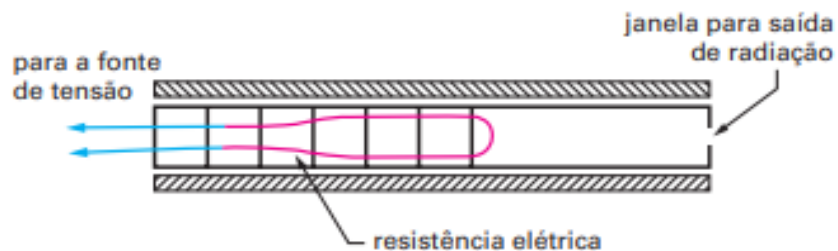
⁸ Para a ciência da época era impossível o calor se propagar sem a intermediação de meio natural, por isso foi consolidado a convicção de que o espaço sideral era preenchido pelo éter (meio material hipotético). (GASPAR, 2010)

⁹ “O poder emissivo é a energia radiante emitida por um corpo sólido por unidade de tempo; o poder absorptivo é a fração de energia incidente por ele absorvida. Em outras palavras, a frequência da radiação emitida por um corpo sólido depende apenas de sua temperatura, independe de quaisquer outras características do corpo: massa, densidade, volume, forma e até da sua própria cor.” (GASPAR, 2010, p. 329)

complexo, pois ele absorve e emite todas as frequências. Assim, tornou-se necessário criar um *modelo ideal*¹⁰ de corpo negro.

É por isso que “[...] um corpo negro de laboratório é uma caixa fechada com um orifício, dentro da qual se coloca uma fonte de calor, em geral, uma resistência elétrica.” (GASPAR, 2010, p. 330) Veja a imagem na figura a seguir.

Figura 03: Esquema de um corpo de um corpo negro de laboratório.



Fonte: Livro Compreendendo a Física – Volume 3 (GASPAR, 2010, p. 330)

Por fim, o esquema acima descreve um corpo negro ideal usado nas pesquisas sobre irradiação térmica. A ilustração mostra um forninho com um pequeno orifício (buraco/ janela) por onde a radiação gerada internamente é emitida.

Trata-se de um modelo perfeito de um corpo negro. Ele pode ser construído, estudado e observado. Deste modo, o pesquisador notará que as radiações produzidas internamente (fonte de tensão elétrica) ou absorvidas do meio (passando pela cavidade) em que se encontra, dificilmente são emitidas. Contudo, a maioria das radiações são refletidas diversas vezes na parede interna do objeto oco.

4.1.2 O enigma do corpo negro

A priori, chama-se atenção para o clima de virada do século XIX para o XX, onde Lord Kelvin, em um evento no dia 27 de abril de 1900 afirmou que no céu azul da Física Clássica duas pequenas nuvens pairavam: o problema da não-detecção do vento de éter (fluido imaterial hipotético que permearia todo o espaço e que se supunha necessário à propagação das ondas eletromagnéticas) e o problema da equipartição da energia (radiação corpo negro).

¹⁰ Uma cavidade, com um pequeno orifício, é um modelo simples, praticamente perfeito, de um corpo negro, pois as radiações que nela penetram, passando pelo orifício, dificilmente saem, mesmo quando refletidas várias vezes no seu interior. (Idem, p. 330)

Não há nada de novo a ser descoberto na física agora. Tudo o que resta são medições mais e mais precisas” (LORDE KELVIN em 1894). EM 1900, seis anos depois de ter feito essa declaração, Kelvin detalhou: “A física está essencialmente completa: há apenas duas nuvens escuras no horizonte.” Ele escolheu as nuvens certas: uma ocultava a relatividade; a outra, a mecânica quântica. (ROSENBLUM; KUTTNER, 2006, p. 58)

Deste modo, ressalta-se que o físico alemão Robert Kirchhoff foi o precursor dessa discussão e análise. Propôs duas leis para explicar a radiação térmica: 1) a cor da radiação emitida – que depende da frequência e da temperatura (não importa a composição do corpo); 2) o conceito do corpo negro - excelente emissor de radiação, e toda radiação gerada nele é emitida.

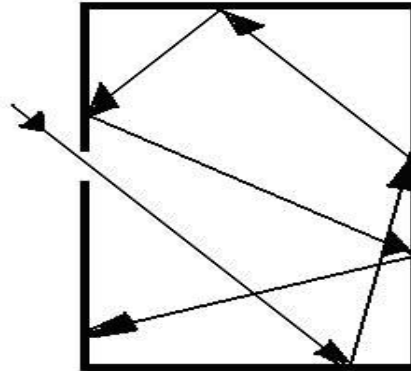
A compreensão desse comportamento físico passou a ser a alma de muitos cientistas. Contudo, já se sabia, experimentalmente, que todo corpo emite radiação, gera uma distribuição espectral e segundo a sua natureza apresenta picos (um ou mais) de frequência máxima. Entretanto, no meio dessas descobertas, os cientistas concluíram equivocadamente que corpos diferentes na mesma temperatura emitem radiação com espectros diferenciados.

Entretanto, um corpo negro é um corpo ideal e seu espectro da radiação depende somente da sua temperatura, ou seja, todos os corpos negros, estando à mesma temperatura T , emitem radiação térmica com o mesmo espectro, independentemente de suas características particulares. (NUNES, 2019, p. 44)

Diante disso, Gustav Robert Kirchhoff propôs um modelo prático de um corpo negro para ser reproduzido e estudado no meio acadêmico. Trata-se de um objeto oco com uma cavidade. Como mostra a figura 04 e pode ser compreendido assim:

[...] utiliza-se comumente uma caixa metálica com paredes à mesma temperatura e com um pequeno orifício onde o raio incide, realizando sucessivas reflexões nas paredes e sendo absorvido. Essas condições tornam a caixa em um corpo com características ideais de absorção, como em um corpo negro, ao que se tornou conhecida como “radiação de cavidade”. (NUNES, 2019, p. 44):

Figura 04: Modelo prático de um corpo negro



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/radiacao-corpo-negro.htm>

Por outro lado, importa destacar, segundo Martini e et al (2016), que um corpo só não emite radiação térmica se sua temperatura for o *zero absoluto*, ou seja, 0 K (zero kelvin) ou - 273,15° C. Com isso, pode-se concluir “que um corpo só deixa de emitir radiação eletromagnética a 0 k.” Entretanto, “de acordo com a terceira lei da termodinâmica, chegar a essa temperatura é impossível.” Assim, pode-se dizer “que todo corpo emite radiação eletromagnética, sempre.” (GASPAR, 2010, p. 330)

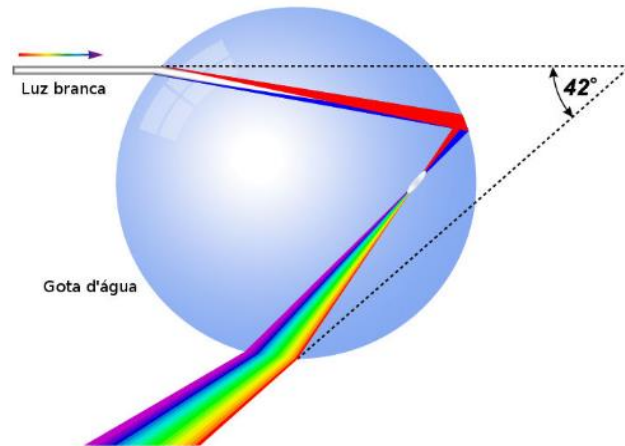
4.1.3 Os Espectros

A priori, torna-se necessário se perguntar: O que é espectro? Nesse sentido, Gaspar (2010, p. 325) afirma que

Os espectros se mostraram uma ferramenta extremamente útil [...], pois são uma espécie de “impressão digital” de cada elemento ou substância, o que permite identifica-los em qualquer material – basta tornar esse material incandescente e analisar as faixas luminosas (linhas espectrais) emitidas.

Por conseguinte, sabe-se que quando se decompõe a luz forma-se um arranjo de cores denominado espectro. Um dos espectros mais conhecidos é do arco-íris. Portanto, no momento em que a luz passa pelas de gotas de chuva ela sofre difração nos diferentes comprimentos de onda e produz diante dos olhos humanos várias faixas de cores diferentes.

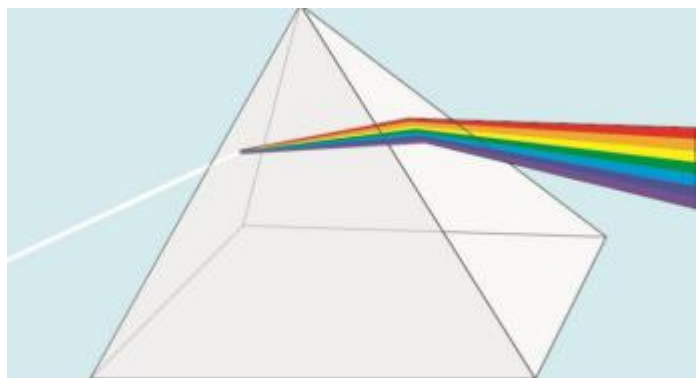
Figura 05: Representação da trajetória da luz solar ao sofrer dispersão em uma gotícula de água de chuva.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>

As cores do arco-íris aparecem porque ocorre a passagem da luz no interior das gotículas de água em suspensão na atmosfera, assim como no interior de um prisma, sofre dispersão. O raio de luz solar ao penetrar a gota, sofre refração. Na sequência ocorrem os processos de reflexão e dispersão da luz produzindo diante do olho humano um espectro de todas as cores. A luz branca ao passar por um prisma se decompõe e forma um espectro semelhante ao do arco-íris.

Figura 06: Formação do espectro da luz, a partir da decomposição da luz branca, pela dupla refração que ela sofre ao entrar no prisma e ao sair do mesmo.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula17-132.pdf>

Nisto, observa-se que os conhecimentos sobre os espectros são tão significativos que as informações e “propriedades físicas das estrelas são obtidas direta ou indiretamente de seus espectros, principalmente suas temperaturas, densidades e composições.” (SARAIVA, FILHO e MULLER, 2020, p. 02)

Dessa forma, faz-se necessário lembrar nesse instante que “a radiação emitida por corpos aquecidos não apresenta linhas, é contínua.” (Gaspar, 2010, p. 325). Para ilustrar esse fato, recomenda-se a observação da figura abaixo:

Figura 07: Espectro visível de um corpo aquecido.



Fonte: Livro Compreendendo a Física (Volume 3) de Alberto Gaspar.

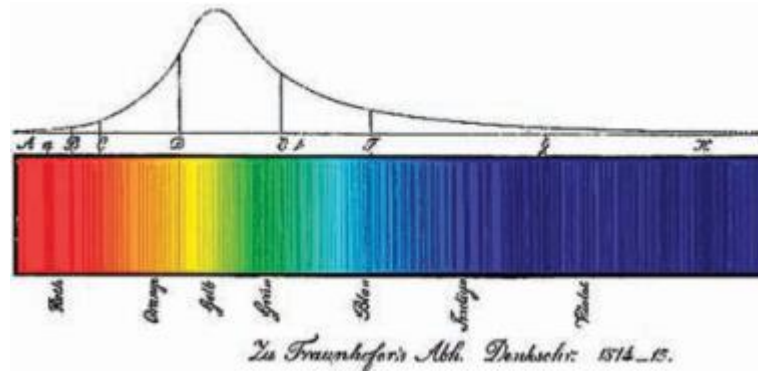
Para tanto, uma análise da figura anterior, implica dizer e acrescentar que “independentemente do material de que é feito o corpo, a emissão de luz começa quando a temperatura do corpo se aproxima de 2 000 °C.” (GASPAR, 2010, p. 325) Esse aparecimento gradativo das cores são sempre as mesmas (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta) e pode ser compreendido através dos conceitos de baixa e alta temperatura.

Com este entendimento de que o corpo negro produz um espectro sem linhas. Tornou-se necessário identificar a intensidade da radiação recebida para estudá-lo através de um gráfico. Deste modo, foi popularizado um gráfico com os seguintes eixos: vertical – intensidade; e horizontal – comprimento de onda (ou frequência).

Assim, os químicos e os físicos da época observaram a existência de uma curva desconhecida no gráfico. Com isso, conforme Gaspar (2010, p. 326), resultou em “pelo menos mais duas questões que a física da época não conseguia responder: qual é a função matemática que origina essa curva? Qual a justificativa física para essa curva?”

Disto, cabe dizer que a história relata que o físico alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826) foi um dos primeiros a elaborar um gráfico que descreve a intensidade da radiação contínua de corpos pelo comprimento de onda. Assim, a figura a seguir resgata e apresenta o gráfico obtido experimentalmente por Fraunhofer em 1814. Nele é possível observar a “curva da intensidade do espectro da luz solar em função do comprimento de onda (as letras abaixo da curva correspondem a determinados comprimentos de onda).” (GASPAR, 2010, p. 326)

Figura 08: Gráfico obtido experimentalmente por Fraunhofer em 1814.



Fonte: Livro Compreendendo a Física (Volume 3) de Alberto Gaspar.

Nesse contexto, faz-se notável fincar as seguintes balizas e conclusões: todos os corpos emitem radiação térmica; o ser humano emite esse tipo de energia radiante também; a radiação (faixa da luz visível) é capaz de criar um espectro com a gradação de cores vermelho-laranja-verde-azul e assim por diante; e um corpo negro ideal absorve toda a energia radiante que nele incide.

Diante desse quadro, Eisberg e Resnick (1979, p. 20) afirmam que “[...] mais de 90% da radiação [...] é invisível para nós, estando na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Portanto, corpos com luminosidade própria são muito quentes.” Nota-se, através de uma barra de ferro sendo aquecida os seguintes fenômenos: 1- com uma temperatura baixa, irradiará calor, mas essa radiação não será visível (cor preta, abaixo do vermelho); 2 – aumentando a temperatura sobre o objeto, o mesmo emitirá radiações com efeitos visíveis (cor vermelha apagada, cor vermelha brilhante, cor branco-azulada intensa). Neste caso, o corpo emite radiação na faixa de frequência da luz visível e assim os nossos olhos são capazes de observar as cores que surgirão à medida que o material é aquecido. O espectro pode ser produzido através do dispositivo denominado espectrômetro.

É sabido que nas temperaturas mais baixas predomina-se a cor vermelha e corresponde aos comprimentos de onda maiores ou às frequências menores. Por outro lado, à medida que a temperatura aumenta vão aparecendo as demais cores e isto está relacionado com as radiações de menor comprimento de onda ou maior frequência.

Para tanto, vale rever uma foto do mecanismo gerador dos espectros. Esse espectroscópio¹¹ que você pode visualizar abaixo, foi fabricado no século XIX. Trata-se de um instrumento específico que era utilizado nas pesquisas com espectroscopia. Essa ferramenta é ainda muito usada nas atividades didáticas das aulas das escolas do século XXI.

Figura 09: Espectroscópio fabricado no século XIX.



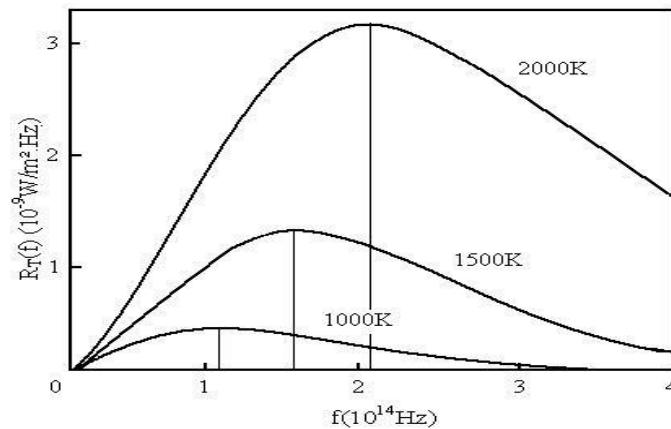
Fonte: Livro Compreendendo a Física (Volume 3) de Alberto Gaspar.

Com o uso do espectroscópio foi possível conhecer os espectros dos elementos químicos (hidrogênio, hélio, mercúrio e outros) e corpos aquecidos. E foram esses espectros que desafiavam a compreensão dos cientistas da época (século XIX). Não eram capazes de dar uma explicação para os gráficos e os espectros (linhas espectrais/ arranjo de cores) que retratavam os experimentos.

Os trabalhos experimentais permitiram o surgimento de uma grandeza chamada radiância espectral $R_T(f)$ que é conceituada e definida pela quantidade de radiação emitida pela superfície de um corpo em um intervalo de frequências a uma temperatura T por unidade de tempo. Observe a figura 10:

¹¹ Gaspar (2010, p. 324) descreve seu funcionamento da seguinte maneira: “Uma fonte de luz emitida por um elemento ou material a ser estudado (hidrogênio, hélio, água, gás carbônico, cloro, mercúrio, etc.) é colocado à frente da objetiva da luneta da direita. Essa luz, depois de atravessar uma fenda estreita, passa por uma rede de difração (ou um prisma) colocada sobre uma plataforma móvel e se dispersa. Essa dispersão é examinada visualmente por meio da ocular da luneta da esquerda: movendo a ocular localizam-se as diferentes radiações em que a radiação original se decompõe e medem-se os respectivos ângulos por meio de uma escala fixada em uma base circular móvel acoplada às lunetas. Para cada ângulo obtém-se um comprimento de onda (ou frequência) correspondente: a esse conjunto de valores de comprimentos de onda dá-se o nome de espectro (do elemento ou material), em geral representados graficamente por uma faixa horizontal com linhas verticais, com as cores da radiação (no caso do espectro visível).

Figura 10: Radiância espectral do corpo negro em função da frequência de radiação.

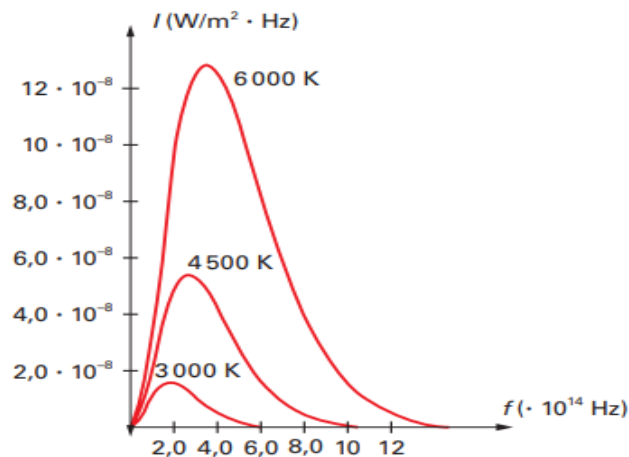


Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/radiacao-do-corpo-negro/>

A frequência de radiância máxima ocorre para frequências mais altas, quanto mais alta for a temperatura do corpo. No gráfico, três exemplos de curvas possíveis são apresentados. A interpretação deste gráfico nos leva a determinar a temperatura de corpos em função de sua radiância espectral. Ou seja, corpos mais quentes tendem a emitir luz branca enquanto que corpos a temperaturas baixas emitem ondas de infravermelho, conforme distribuição no espectro eletromagnético.

O gráfico abaixo (figura 11) ilustra experimentalmente a intensidade da luz emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda da luz. Durante muito tempo os físicos não conseguiam explicar a teoria ou estabelecer um modelo por trás dessas curvas.

Figura 11: Espectro de emissão do corpo negro



Fonte: Livro Compreendendo a Física de Alberto Gaspar. São Paulo: Ática, 2010

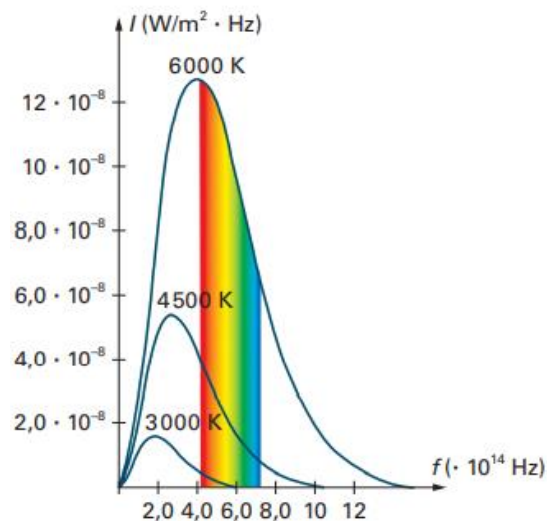
O gráfico acima é gerado pelos dados do dispositivo experimental¹² composto de uma fonte, um prisma e um detector que mede a intensidade da radiação. Ainda, nessa discussão, é necessário lembrar que no momento em que a radiação emitida pelo corpo negro atinge o detector, o mesmo gera informações da intensidade “por área e faixa de frequência ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{Hz}$) em função da frequência” como mostra o gráfico.

Foi nesse contexto que o cientista alemão Max Planck desenvolveu o modelo de quantização da radiação. Para ele, a matéria irradia luz através de pacotes denominado quanta. Essa ideia provocou uma revolução no meio científico e levou Albert Einstein a compreensão do efeito fotoelétrico¹³.

4.1.4 Catástrofe do Ultravioleta

Na figura abaixo os três resultados estão representados no mesmo par de eixos e podem ser descritos pela mesma função matemática. A representação descreve as seguintes realidades entre os gráficos e o espectro da luz visível. Veja:

Figura 12: Superposição entre esses gráficos e o espectro da luz visível.



Fonte: Livro Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna.

¹² O leitor poderá encontrar as informações detalhadas sobre o dispositivo no livro Compreendendo a Física de Alberto Gaspar da editora Ática. (GASPAR, 2010, p. 332)

¹³ “Albert Einstein (1879 – 1955), em 1905, estudando o efeito fotoelétrico, usou a ideia da quantização e propôs que cada quantum de luz, ou fóton, tem uma energia E dada por: $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$, onde h é a constante de Planck, $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$, f é a frequência da luz, λ é o comprimento de onda da luz e c é a velocidade da luz $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$.” (SARAIVA, FILHO e MULLER, 2020, p. 13)

Nesse contexto, surge as hipóteses de Wien e Rayleigh-Jeans, visando apresentar um modelo matemático para o espectro da radiação do corpo negro. As propostas e hipóteses apresentadas por estes pesquisadores estavam baseadas nos fundamentos da física clássica.

Wien¹⁴, em 1896, fez uma formulação do enigma do espectro da radiação térmica e gerou à primeira função teórica da radiação do corpo negro. Na sequência, como última tentativa teórica baseada em hipóteses da física clássica, tem-se a proposta do físico inglês John Rayleigh (1842-1919) e astrofísico inglês James Jeans (1877-1946). Eles propõem que a radiação emitida pelo corpo negro deveria originar-se de ondas eletromagnéticas oscilantes dentro da cavidade do corpo negro, geradas pelos osciladores moleculares das paredes, como ondas estacionárias numa corda. (GASPAR, 2013)

Diante disso, Rayleigh e Jeans¹⁵ obtiveram um modelo matemático para explicar o enigma, porém a expressão matemática fazia sentido para os dados experimentais para baixas frequências, mas havia um flagrante diferença para altas frequências. (GASPAR, 2013) Para Quartuccio (2020) o físico e o astrofísico decidiram usar os conceitos de ondas estacionárias para explicar o processo de radiação no interior da cavidade do corpo negro. Assim, a proposta se mostrou eficiente para baixas frequências, mas não conseguiu resolver as situações em que apareciam frequências mais altas. Dessa forma, a expressão matemática encontrada por Rayleigh e Jeans, baseada na teoria da física clássica, levou-os concluir que a intensidade de radiação tenderia ao infinito na direção da região do ultravioleta (espectro da luz visível).

4.2 Leis da Radiação da Cavidade

Por conseguinte, é imprescindível situar historicamente a investigação e descrever as leis que tratam da radiação do corpo negro. Com isto, “partiremos do cenário delineado por Kirchhoff e visitaremos algumas hipóteses que culminam na lei de Planck, cuja concordância com a experimentação é excelente.” (ATTUX, CRUZ e SORIANO, 2012, p. 02)

¹⁴ Sua lei e contribuição será detalhada no item 5.2 do subitem 5.2.4 a seguir.

¹⁵ “Curiosamente, as expressões de Rayleigh-Jeans e de Wien eram complementares em relação à adequação aos dados experimentais. Uma expressão estava de acordo com esses dados quando a outra não estava, e vice-versa.” (GASPAR, 2013, p. 266)

Portanto, a busca por uma equação que explicasse o fenômeno do espectro da radiação térmica deu origem aos seguintes trabalhos, hipóteses ou tentativas que se ajustassem a compreensão da intensidade do corpo negro. As principais leis que retratam essa situação foram descritas pelos seguintes nomes: Kirchhoff, Rayleigh-Jeans, Stefan-Boltzmann, Wien e Planck.

Estes físicos teóricos buscaram e tentaram introduzir os conceitos e as expressões matemáticas que explicassem e expressassem o experimento da radiação do corpo negro. Assim, nesse item, visa-se discorrer sobre as leis propostas por cada um deles, suas conclusões e os respectivos gráficos que retratam e contrastam a realidade do experimento e da teoria.

4.2.1 Leis de Kirchhoff

Cabe dizer que a radiação térmica é gerada pelo movimento dos átomos que constituem o corpo. (GASPAR, 2010; MARTINI e et al, 2016; ATTUX, CRUZ e SORIANO, 2012; EISBERG e RESNICK, 1979). Portanto, trata-se de um processo complexo que se inicia com os átomos absorvendo e emitindo radiação até atingir o equilíbrio térmico; na sequência a superfície do corpo é atingida; e termina com o surgimento do espectro de emissão de aspecto contínuo. (ATTUX, CRUZ e SORIANO, 2012, p. 02)

Conforme o Projeto Alexandria (2012, p. 02) da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Todo corpo emite radiação própria, cuja frequência depende de sua temperatura - quanto maior a temperatura, maior a frequência emitida. Os corpos terrestres, em geral, não estão quentes o suficiente para emitir luz visível e emitem radiação infravermelha. A cor que conferimos aos objetos cotidianos é fruto da frequência luminosa que ele é capaz de refletir. Se um corpo absorve todo o espectro visível, dizemos que tal corpo é preto. Mesmo os objetos pretos do nosso dia-a-dia, não absorvem todo o espectro da radiação [...]

Por conseguinte, em 1859 Gustav Kirchhoff firmou as primeiras etapas do estudo da radiação do corpo. Assim, através das bases da termodinâmica o pesquisador mostrou que um corpo capaz de absorver toda radiação nele incidente (corpo negro) assume característica de emissão em função de sua temperatura e frequência. Ou seja, o formato, o material constituinte, não interfere nas propriedades do tal emissor.

Para Antunes (2012, p. 12)

O termo “corpo negro” foi introduzido por Gustav Kirchhoff em 1860. Um exemplo de um corpo “quase” negro seria utilizar um objeto coberto por uma camada de pigmento preto. Independentemente da sua composição verificava-se que todos os corpos negros à mesma temperatura emitiam radiação térmica com o mesmo espectro.

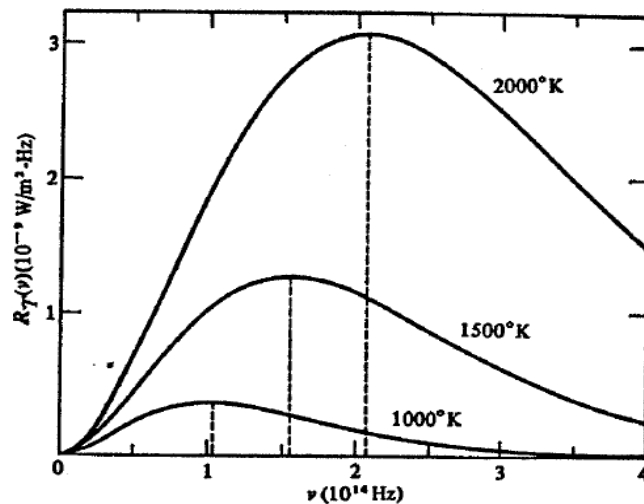
Para compreender o teorema de Kirchhoff, usa-se $R_f df$ para se referir quantidade de energia emitida pelo corpo negro por unidade de área e unidade de tempo, no intervalo delimitado pelas frequências f e $f + df$. Por outro lado, sabe-se que R_f (radiância espectral) é uma espécie de densidade de energia emitida para uma dada frequência. Com isso, a função pode ser escrita da seguinte forma:

$$R_f = R_f(f, T) \quad (1)$$

Assim, Kirchhoff faz uma relação simples e significativa para o futuro da ciência entre a frequência da radiação (f) e a temperatura do corpo negro (T).

A partir disso, a correlação experimentalmente da R_f entre f e T pode ser vista na Figura 13.

Figura 13: Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência da radiação – temperaturas de 1000 K, 1500 K e 2000 K.



Fonte: Eisberg e Resnick (2001, p. 21).

Ludwig Boltzmann, em 1884, ao explicar a Lei de Stefan, como demonstra a Figura 13 e considerando as ideias (conexão entre os fenômenos eletromagnéticos e a radiação) Maxwell, concluiu que o espectro se desloca para maiores frequências na medida em que a temperatura T aumenta.

Para tanto, com a integração da Rf (energia total emitida por unidade de tempo, por unidade de área, por um corpo negro à temperatura T) sobre todas as frequências f , obtém-se R_{Total} :

$$R_{total} = \int_0^{\infty} Rf df \quad (2)$$

Por conseguinte, no próximo item dessa discussão, observa-se que Josef Stefan (1879), considerando a definição de corpo negro dada por Kirchhoff, anunciou uma lei (Lei de Stefan-Boltzman) empírica que determina o total de energia irradiada (R_{Total}). Veja a equação

Deve-se, por fim, deixar claro que Kirchhoff foi o primeiro desbravar e propor um modelo hipotético para entender o terreno da radiação térmica. Ele propôs as primeiras leis e o modelo ideal de corpo negro. Assim, visa-se na sequência elencar os principais nomes que embarcaram nessa jornada científica.

4.2.2 Lei de Stefan-Boltzmann

Por conseguinte, temos a lei de Stefan-Boltzmann que foi desenvolvida por dois físicos austríacos chamados Joseph Stefan (1835-1893) e Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), separadamente e de forma independente. A equação calcula a energia radiante total que emite um corpo negro por unidade de superfície (R_{Total}) e essa grandeza é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (T). Dessa maneira pode ser expressa assim:

$$R_{total} = \sigma T^4 \quad (\text{Lei de Stefan-Boltzmann}) \quad (3)$$

Onde σ (constante de Stefan-Boltzmann) tem o valor de $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Através desta lei ou expressão matemática pode-se determinar o poder emissor de um corpo.

4.2.3 Lei de Wien

Wien, por outro lado, com a lei do deslocamento descreve que “o pico da distribuição de comprimentos de onda muda para comprimentos mais curtos à medida que a temperatura aumenta.” (JEWET E SERWAY, 2012, p. 169) Dessa forma, registra-se que o fato ocorreu em 1893 e usando argumentos da termodinâmica, Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien, demonstrou “que o valor do comprimento

de onda λ_{\max} , para o qual a radiância espectral é máxima, é inversamente ao valor da temperatura T ", argumenta Lima (2013, p. 10).¹⁶

A partir do método proposto por Boltzmann e a lei de Stefan, Wien propôs a lei de deslocamento. Que ficou conhecida como lei de deslocamento de Wien. Assim, observa-se que o produto entre um termo cúbico e uma função da razão entre f e T , descreve a função.

$$E_{\lambda}(f, T) = f^3 F(f/T) \quad (4)$$

Trata-se, como vem sendo discutido, de outra lei formulada empiricamente antes de 1900. É a Lei do Deslocamento de Wien que pode ser obtida igualando-se a zero a derivada da equação de Planck para distribuição da equipartição da energia em relação ao λ . A Lei de Wien relaciona o comprimento de onda do máximo da distribuição de radiação com a temperatura do corpo emissor: Veja abaixo:

$$E_f(f, T) df = E_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda \quad (5)$$

Fazendo $\lambda = \frac{c}{f}$, tem-se:

$$d_f = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) d_{\lambda} \quad (6)$$

Nessa equação 6 (seis), destaca-se que a presença do sinal negativo indica duas situações: primeiro, o aumento do comprimento de onda determina a diminuição da frequência; e segundo, a diminuição do comprimento de onda significa o aumento da frequência. Com isso, temos:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) E_f(f, T). \quad (7)$$

Por outro lado, se fizer inserção da equação 7 (sete) na 4 (quatro), chega-se:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) f^3 F\left(\frac{c}{\lambda T}\right)$$

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) \left(\frac{c^3}{\lambda^3}\right) F\left(\frac{c}{\lambda T}\right)$$

Dessa maneira, a escrita da lei do deslocamento fica da seguinte forma:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(\frac{c^4}{\lambda^5}\right) F\left(\frac{c}{\lambda T}\right) \quad (8)$$

¹⁶ É importante lembrar que "o trabalho experimental não se direcionava para a busca de $E_f(f, T)$, e sim para $E_{\lambda}(\lambda, T)$, pois desde os primeiros experimentos abrangendo o conteúdo da radiação de cavidade, mostrava-se que E_{λ} tinha um máximo determinado como comprimento máximo de onda (λ_{\max}) e que ele diminuía com a temperatura." (NUNES, 2019, p. 43)

Considerou-se a “variação $d\lambda$ positiva, despreza-se o sinal negativo. Derivando o termo $E\lambda$ em relação ao λ , e igualando o resultado a 0, obtêm-se o comprimento de onda de emissão máxima”, segundo Nunes (2019, p. 48).

$$\frac{c^4}{\lambda^5} \left\{ \frac{-5}{\lambda} F\left(\frac{c}{\lambda T}\right) - \frac{c}{\lambda^2 T} F'\left(\frac{c}{\lambda T}\right) \right\} = 0 \quad (9)$$

Por fim,

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b \quad (10)$$

Como sendo, pode ser escrita também assim:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{\omega}{T} \quad (11)$$

onde ω ou b é a constante de dispersão de Wien ($2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$). Ainda, reforça-se através da equação acima que o $\lambda_{m\acute{a}x}$ se desloca de maneira inversamente proporcional à temperatura do corpo.

Por outro lado, a expressão (11) pode ser escrita em termos da frequência. Veja a seguir.

$$f_{m\acute{a}x} = a T \quad (12)$$

Em que a igual a $5,88 \cdot 10^{10} \text{ Hz/K}$. Quando T aumenta, $f_{m\acute{a}x}$ se desloca para frequências mais altas. Na sequência, a tabela abaixo ilustra essa correlação a frequência máxima de um corpo negro sob diferentes temperaturas e a respectiva faixa no espectro eletromagnético.

Tabela 01: Lei de deslocamento de Wien

Lei de Wien		
Temperatura (°C)	$\nu_{m\acute{a}x}$ (Hz x 10^{13})	Cor
20	1,7	Infravermelho
500	4,5	Vermelho
700	5,7	Verde
1000	7,5	Violeta

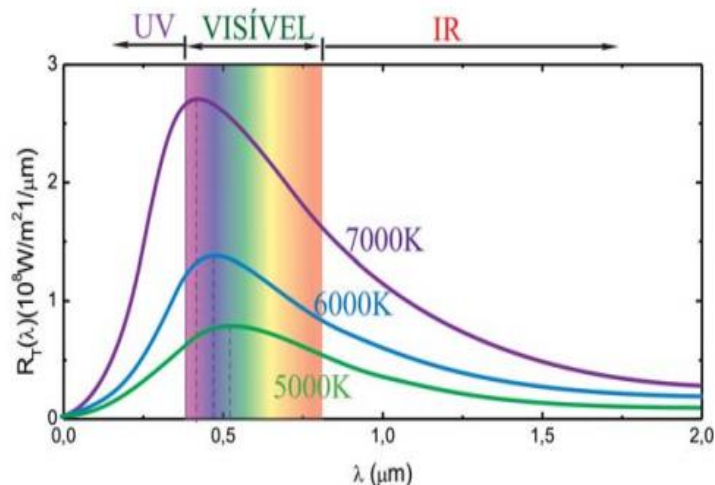
Fonte: Perez (2016, p. 18).

Conforme a tabela acima, a $f_{\text{máx}}$ desloca de maneira diretamente proporcional à temperatura do corpo. “Os corpos com baixas temperaturas possuem baixas frequências e, conseqüentemente, emitem menor energia, de modo que se mantém na faixa infravermelha do espectro eletromagnético.” É evidente também, na medida em que a temperatura vai aumentando, a cor da radiação se desloca para a faixa de luz visível e, na continuidade desse aumento de temperatura pode atingir a faixa de ultravioleta. Com efeito, “a faixa de maior frequência e temperatura para o estudo da radiação dos corpos negros é a faixa ultravioleta.” (NUNES, 2019, p. 49)

Por outro lado, é relevante destacar e mencionar a constante de proporcionalidade da *lei do deslocamento*, conhecida como constante de Wien, foi obtida experimentalmente e vale

$$\lambda_{\text{máx}} T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m} \times \text{K} \quad (13)$$

Figura 14: Radiância espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda λ e temperatura T.



Fonte: <https://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>

Em síntese, como demonstra a Figura 14, a radiância espectral do corpo negro que ficou conhecida como *lei do deslocamento de Wien*. Assim, deve-se observar, conforme Lima (2013) que “os comprimentos de onda $\lambda_{\text{máx}}$, correspondentes aos valores máximos da radiância $R_T(\lambda)$, diminuem com o aumento da temperatura T.” Esse fato é comprovado quando se analisa o desvio do vermelho para o azul no espectro da radiação térmica.

4.2.4 Lei de Rayleigh-Jeans

A lei Rayleigh-Jeans foi elaborada a partir da física clássica. Fez uso dos conceitos e princípios termodinâmicos. Deste modo, fez conclusões matemáticas que se desviavam dos dados esperados pelos os experimentos existentes. Isso acabou gerando o que foi denominado na época de catástrofe ultravioleta. Essa “catástrofe” descreve a energia do corpo negro tendendo ao infinito quando o comprimento de onda se aproximava de zero. Com efeito, o termo ultravioleta foi empregado devido ao dos comprimentos de onda serem curtos.

Por sua vez, a história registra que

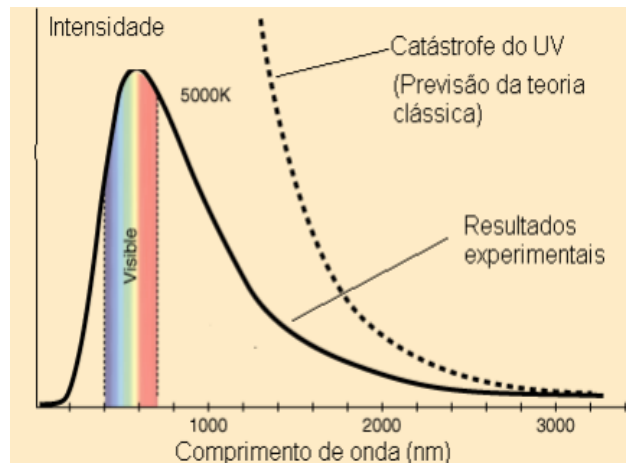
No início do século XX, John William Strutt Rayleigh e James Hopwood Jeans, utilizaram a teoria clássica para estudar a densidade de energia da radiação de cavidade, ou de corpo negro, o que resultou em sérias inconsistências com dados experimentais. Essas inconsistências são os fatos científicos mais importantes que deram origem à teoria quântica moderna. (LIMA, 2013, P. 2013)

De forma geral, as inconsistências observadas por Rayleigh e Jeans provocaram o surgimento da teoria de Planck que introduziu a quantização da energia e os princípios da teoria quântica. Assim, conforme as previsões clássicas, foi obtido a equação abaixo e ficou conhecida como a fórmula de Rayleigh-Jeans para a radiação de corpo negro.

$$\rho T(v)dv = \frac{8\pi v^2 kT}{c^3} dv \quad (14)$$

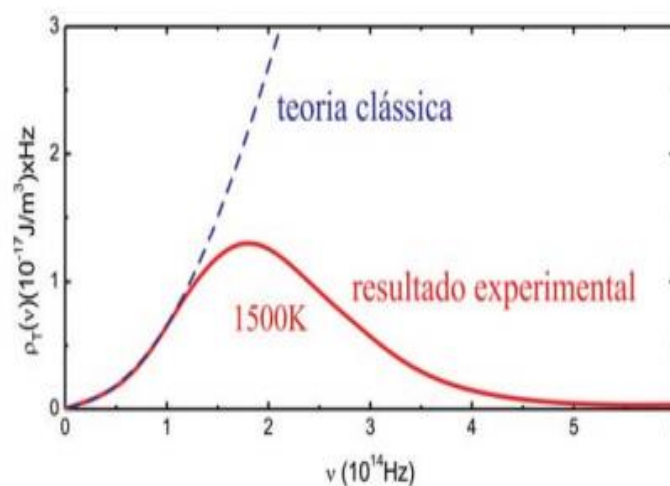
Enfim, a equação abaixo mostrou através das figuras 13 e 14 que o comportamento da densidade de energia $\rho T(v)$ em função da frequência v ou em função do comprimento de onda λ , descreve uma discordância entre o resultado teórico e o experimental. Portanto, quando se analisa as figuras, nota-se de fato uma evidente discrepância entre os dados da física prática e os dados da física teórica sobre o espectro da radiação térmica.

Figura 15: Curva de Rayleigh-Jeans apontando para uma intensidade infinita.



Fonte: https://www.moderna.com.br/temas_especiais/radiação_corpo_negro.pdf

Figura 16: Resultado teórico de Rayleigh-Jeans para a radiação de um corpo negro comparado com o resultado experimental.



Fonte: Tópicos de Laboratório de Física Moderna (LIMA, 2013, p. 15).

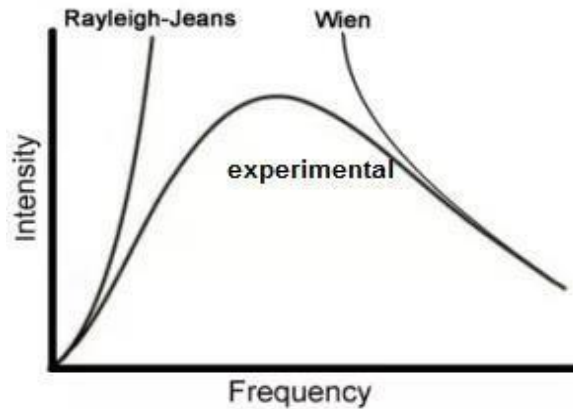
Para Lima (2013, p. 15)

O espectro clássico se aproxima do resultado experimental somente no limite de baixas frequências. A medida que a frequência cresce, a teoria prevê uma tendência ao infinito para a densidade de energia enquanto que a experiência prevê uma tendência a zero da mesma grandeza. A tendência ao infinito de $\rho_T(\nu)$ para altas frequências ν , na teoria de Rayleigh-Jeans, ficou conhecida como a catástrofe do ultravioleta.

Portanto, a discrepância demonstrada nas Figuras 15 e 16 entre os dados experimentais e a teoria ficou conhecida com “Catástrofe da Ultravioleta.” Porém, vale

ressaltar que havia alguns acertos tanto na equação de Rayleigh-Jeans como na de Wien. Isso pode ser demonstrado na Figura 17.

Figura 17: Comparação da radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh-Jeans.



Fonte: Guimarães (2018, p. 28).

Como diz Nunes (2019, p. 49) “a equação de Rayleigh era válida apenas para altos comprimentos de onda e baixas frequências, já a equação de deslocamento de Wien tinha sua funcionalidade apenas para baixos comprimentos de onda e altas frequências [...]”. Nesse contexto, destaca-se a questão: como solucionar o problema ou a incógnita?

Dito tudo isto, vale lembrar que é nesse contexto que surge Max Planck e resolve o problema da radiação do corpo negro. O físico alemão assumiu a hipótese sobre o princípio da equipartição da energia e apresentou um modelo teórico que foi na contramão da teoria clássica da termodinâmica, mas se ajustava aos dados experimentais.

4.2.5 Lei de Planck

O físico alemão Planck visando decifrar o problema da radiação do corpo negro, fez uso do modelo descrito por Kirchhoff em 1860 e associou “a oscilação dos átomos que constituíam as paredes do recipiente com a oscilação harmônica.” (NUNES, 2019, p. 49) Deste modo, alterou a ideia de quantidade de energia implementada pela Física Clássica, que sempre desencadeava no resultado denominado de “Catástrofe do Ultravioleta”.

Max Planck foi “o primeiro a empregar a teoria quântica” e a explicar o fenômeno do “comportamento das partículas de dimensões microscópicas”. Nisto,

desenvolveu uma lei expressa através de uma equação que “corresponde totalmente aos resultados experimentais para todos os comprimentos de onda” do espectro do corpo negro. (JEWET E SERWAY, p. 167, 169 e 170)

Essa descoberta violou a lei clássica de equipartição da energia (determinava que os elétrons poderiam oscilar em qualquer valor de energia de zero a um valor máximo), pois Planck defendeu o conceito de que a energia do elétron deveria ser quantizada em múltiplos inteiros de um *quantum* de energia (a energia adquirida por cada elétron necessitaria variar em quantidades inteiras e que essa energia resultaria apenas da frequência de oscilação das moléculas). Com isto, surgiu o postulado com o conceito de *quantum*. (NUSSENZVEIG, 1998; NUNES, 2019)

De maneira didática, Eisberg e Resnick (2001) aborda a “violação” de Planck à lei de equipartição da seguinte forma:

Tabela 02: Abordagem de Planck e a Lei de equipartição de energia (Clássica)

Planck	Lei de equipartição (Clássica)
<p>Energia média de um oscilador</p> $\bar{E} \rightarrow kT$ $\nu \rightarrow 0$ <p>Energia total média tende a kT quando a frequência (ν) se aproxima de zero. T é a temperatura de equilíbrio térmico do sistema e k representa a constante de Boltzmann.</p>	<p>O resultado aceitável é</p> $\bar{E} \rightarrow 0$ $\nu \rightarrow \infty$ <p>Energia total média tendendo a zero, quando a frequência tender ao infinito.</p>

Fonte: Eisberg e Resnick, 2001.

Quando se usa a distribuição de Boltzmann, obtém-se:

$$P(\varepsilon) = \frac{\sigma^{-\varepsilon/kT}}{kT} \quad (15)$$

Assim, $P(\varepsilon)d\varepsilon$ é a probabilidade de encontrar um dado em um sistema com energia no intervalo entre ε e $\varepsilon + d\varepsilon$. Logo, usando regra da função de Boltzmann, temos:

$$P(\varepsilon) = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon P(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon} \quad (16)$$

Por fim, com a integração do numerador obtém-se exatamente a lei de equipartição de energia.

$$\bar{E} \rightarrow kT \quad (17)$$

A contribuição de Planck inicia no momento em que ele enxerga a energia ε como uma variável discreta em vez de uma variável contínua (Física Clássica). Deste modo, sua suposição apontou para o fato de que a energia ε passasse a adotar certos valores discretos em vez de valores quaisquer.

$$\varepsilon = 0, \Delta\varepsilon, 2\Delta\varepsilon, 3\Delta\varepsilon, 4\Delta\varepsilon, \dots$$

ou seja, $\Delta\varepsilon$ considera o intervalo constante entre valores possíveis sucessivos da energia.

Diante disso, Max Planck precisou encontrar resultados para baixos valores da frequência f e altos valores de frequência f . Deste modo, precisou fazer da variação de energia uma função crescente de f . Com efeito, obteve-se a equação:

$$\Delta\varepsilon = hf \quad (18)$$

A constante de proporcionalidade (h) foi alcançada em cálculos posteriores e se tornou um número que melhor se adaptava aos dados experimentais. Essa constante levou seu nome e passou a ser conhecida como constante de Planck.

$$h \cong 6,63 \times 10^{-34} \text{ joule x segundo} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

$$h = \frac{h}{2\pi} \cong 1,055 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cong 6,58 \times 10^{-16} \text{ eV.s}$$

Para tanto, o postulado de quantização de Planck seria inadmissível para Física Clássica, pois a energia de uma oscilação não tinha nenhuma relação com a frequência e sim com a amplitude. Ele próprio denominou seu postulado de um “ato de desespero”. Os fatos demonstram a insistência do cientista “encaixar a ideia quântica dentro da teoria clássica.” Contudo, “[...] o que finalmente o convenceu da correção e do profundo significado de sua hipótese quântica foi o fato dessa hipótese levar a uma formulação mais exata da terceira lei da termodinâmica e do conceito estatístico de entropia.” (EISBERG; RESNICK, 2001, p. 42).

Segundo Nunes (2019, p. 54) a elucidação de Planck para a catástrofe ultravioleta ocorreu com uma alteração na fórmula de Rayleigh–Jeans. Ele substituiu “a energia média clássica correspondente a cada campo, expressa pelo valor kBT , por uma nova expressão.” Ao fazer a adaptação da equação, realizou um feito

extraordinário, conciliou os dados experimentais com os teóricos, a respeito da distribuição espectral da radiação. E deu início a Física Quântica.

Tabela 03: Equações de Planck e suas representações

Equações de Max Planck		
Expressa pelo valor KBT	Forma mais completa	Escrita para densidade espectral 1
$K_B T = \frac{hc}{\lambda} \frac{1}{\frac{hc}{e^{\lambda K_B T}} - 1}$ $= \frac{E_\lambda}{e^{K_B T} - 1}$	$R(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\lambda K_B T} - 1}$	$u = \frac{\frac{8\lambda h v^3}{c^3}}{\{exp(\frac{hv}{KT}) - 1\}}$
Equações de Max Planck		
Densidade espectral 2	Em função do comprimento de onda	
$P(\nu) = \frac{N\nu}{v} u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{hc}{e^{h\nu KT} - 1} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu KT} - 1}$	$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{h\nu KT} - 1}$	

Fonte: O autor (2020).

Onde:

A expressão $\frac{hc}{\lambda}$ corresponde à quantidade de energia discreta retratada por cada modo de oscilação ou pulso.

R = Radiância Espectral

T = Temperatura do Corpo Negro (K)

h = Constante de Planck (J/Hz)

e = Número de Euler

c = Velocidade da luz

KB = Constante de Boltzmann (J/K)

E comprimento de onda tem relação com a frequência, dada por $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

Em suma, a lei que explicou e calculou de forma ajustada a distribuição de energia do corpo negro foi realizada em 1900 por Max Planck. Esse modelo matemático e a sua teoria está relacionado à origem da Física Quântica. A equação apresentada por ele foi:

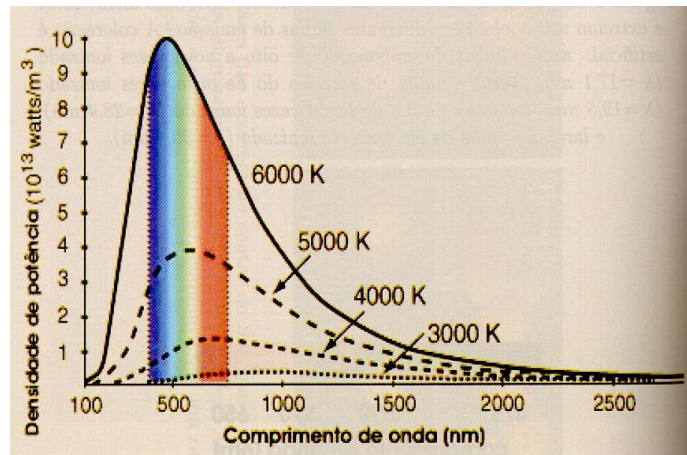
$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (19)$$

onde h é a constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J s), c é a velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s), e k , a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K). A unidade de E_{λ} é dada por:

$$[E_{\lambda}] = \frac{[energia]}{[tempo].[área].[comprimento]} = \frac{J}{(s.m^2.m)} = \frac{W}{m^3}$$

Nesse contexto, vale a pena comentar a Figura 20, que conforme Sérgio Moraes e Quirijn Lier (2005), professores da Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, descreve a potência irradiada para corpos com diferentes temperaturas (de 3000 a 6000 K). Deste modo, destaca-se que só é possível ver a olho nu as cores da radiação se o espectro estiver na faixa visível, entre 380 e 750 nm, como é demonstrada em cores no gráfico.

Figura 18: Espectro de emissão de corpo negro para corpos com diferentes temperaturas.

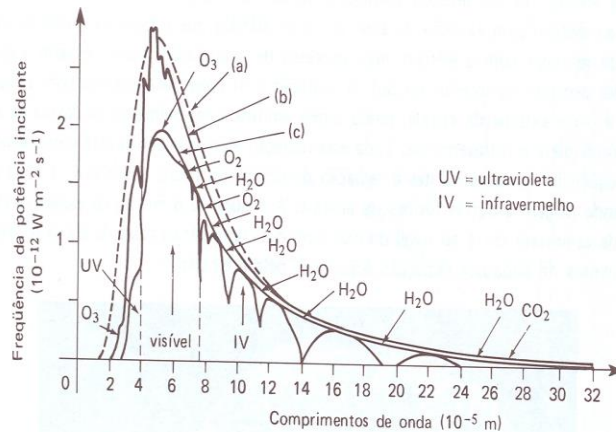


Fonte: MORAES e LIER. Aula Prática: Radiação do Corpo Negro, Cor e Temperatura de Superfícies. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/ Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”/ Departamento de Engenharia de Biosistemas: 2005.

Assim, conclui-se que “um corpo mais quente emitirá mais radiação que um mais frio em *todos* os comprimentos de onda e que o máximo da radiação ocorre para λ menores conforme a temperatura do corpo aumenta.” (MORAES e VAN LIER, 2005, p. 02)

Por outro lado, a Figura 17 mostra, além dos espectros teóricos da Figura 18, informações dos espectros identificados no topo da atmosfera e nível do mar, após serem atenuados por absorvedores situados na atmosfera terrestre.

Figura 19: Espectros da radiação: (a) de um corpo negro a 6000 K; (b) solar fora da atmosfera terrestre; (c) solar ao nível do mar.



Fonte: Okuno, E. e et al. Física para ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Harbra, 1982.

E mais, todos materiais que estiverem na mesma temperatura T emitirão o mesmo espectro de radiação, mesmo que cada material esteja constituído de substâncias diferentes (metal, corpo humano ou gás de hidrogênio). Entretanto, como acontece naturalmente, é necessário que o corpo absorva quase toda a radiação incidente. Assim, menciona-se como exemplo o corpo humano, com temperatura em torno de 310 K, irradia a maior parte de uma emissão em comprimentos de onda do infravermelho, ou calor.

4.2.6 Distribuição de Planck e as leis de radiação do corpo negro

Convém, nessa etapa, esclarecer de imediato que a partir da equação de Max Planck é possível obter as demais equações que buscaram modelar matematicamente o espectro da radiação do corpo negro. Ou seja, se você partir do modelo matemático proposto por Planck poderás chegar as leis de Stefan-Boltzmann e Wien com o uso das ferramentas de integração e derivação.

Assim, destaca-se que através da distribuição de Planck (Equação 1) pode-se obter as demais leis que foram elaboradas, formuladas e desenvolvidas empiricamente antes do ano de 1900. Para Moraes e Lier (2005) a Lei de Stefan-Boltzmann pode ser obtida pela integração da equação 1 que varia no intervalo entre zero e infinito. Essa primeira lei fornece a densidade de fluxo total (q), definida como

o somatório de todas as densidades de fluxo de energia correspondentes a todos os comprimentos de onda, emitido por um corpo a uma temperatura T :

$$q = \sigma T^4 \quad (20)$$

onde T é a temperatura do corpo (K) e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

A segunda lei, conhecida como Lei do Deslocamento de Wien, pode ser encontrada quando se iguala a zero a derivada primeira da equação 1 em relação a λ . Este modelo, como revela a equação 3, relaciona o comprimento de onda do máximo da distribuição de radiação com a temperatura do corpo emissor:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{\omega}{T} \quad (21)$$

onde ω é a constante de Wien ($2,9 \times 10^{-3} \text{ m.K}$).

Segundo Moraes e Lier (2005, p. 03), quando os corpos forem reais, a equação (2) precisará receber uma correção através da inserção do fator ε denominado pelo meio científico de *coeficiente de emissividade*¹⁷. Esse fator descreve e “compara com um corpo negro a habilidade dos corpos reais de emitirem energia em um determinado comprimento de onda.” Por isso a equação assume a seguinte configuração:

$$q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (22)$$

Por sua vez, observa-se que nas situações em que não se trabalha com os modelos hipotéticos de corpos negros, mas corpos reais, as leis anteriores sofrem adaptações e correções. Isso acontece porque, segundo Anhas (2005, p. 23), “os materiais correntes apresentam um poder radiante inferior ao do corpo negro (para a mesma temperatura e comprimento de onda).”

Diante disso, ressalta-se que a “emissividade determina a maior ou menor quantidade de energia que um corpo emite.” Assim, conclui-se que “quanto menor a emissividade do corpo, menor será a energia emitida, e, maior será a temperatura superficial do elemento.” (ANHAS, 2018, p. 24)

Então, o fator $\varepsilon(\lambda)$ expressa o *grau de enegrecimento do corpo*, ou seja, o quanto sua emitância se aproxima da do corpo negro. Nesse sentido, Anhas (2018, p.

¹⁷ “O valor da emissividade é adimensional e varia entre 0 e 1”, destaca Anhas (2018, p. 24).

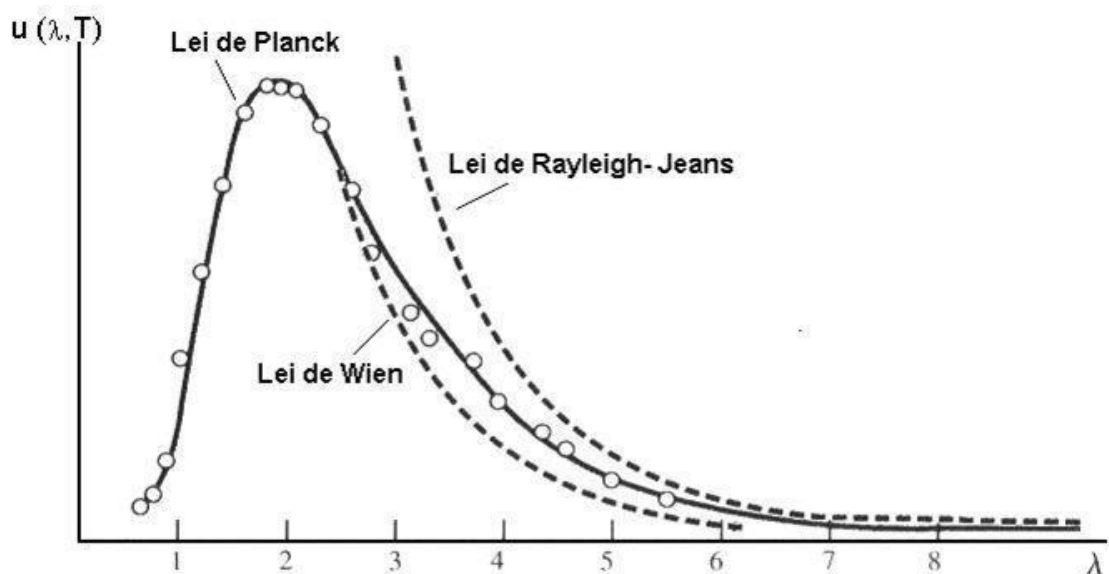
19) afirma que “a emissividade é uma propriedade dos materiais que rege a transmissão de radiação e condiciona a temperatura superficial da superfície.”

Em síntese, sabe-se que

Há várias leis que regem a emissão de radiação de um corpo negro. A Lei de Kirchhoff diz que o corpo negro é capaz de emitir radiação para todos os comprimentos de onda, cedendo energia à sua envolvente até estabelecido o equilíbrio termodinâmico. Da Lei de Planck (*equação 1*) resulta a radiação emitida pelo corpo negro relacionando a temperatura com o comprimento de onda. A Lei de Wien (*equação 3*), derivada da lei anterior, traduz o deslocamento do máximo valor da radiância espectral em função da temperatura. E a Lei de Stefan-Boltzmann (*equação 2*), referida anteriormente, permite obter o valor da energia radiante de um corpo negro para uma determinada temperatura. (ANHAS, 2018, p. 23)

Entretanto, ressalta-se a comparação entre as Leis de Rayleigh-Jeans, Wien e Planck. Essa associação é expressa no gráfico a seguir.

Figura 20: Comparação da curva de radiação emitida por um corpo negro.



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/2884196/>

Por fim, nota-se no gráfico acima que a Lei de Planck se adapta e atende as exigências dos dados experimentais. Max Planck encontra com sua equação a solução para a catástrofe ultravioleta. Por outro lado, as Leis de Wien e Rayleigh-Jeans não se ajustam ao resultado experimental da equipartição da energia do corpo negro.

4.2.7 Radiação do corpo negro

Nas palavras de Eisberg e Resnick (1979, p. 20) o corpo negro é descrito assim: “[...] um tipo de corpo quente que emite espectros térmicos de caráter universal. Esses corpos são chamados corpos negros, isto é, corpos cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles.”

A solução para o desafio da radiação do corpo negro ocorreu em 14 de dezembro de 1900. Nesse dia nasceu a física quântica através Max Planck. Foi ele apresentou nessa data para toda a Sociedade Alemã de Física o artigo “Sobre a Teoria da Lei da Distribuição de Energia do Espectro Normal” que descrevia uma postulado capaz de ajustar a teoria com o experimento. Nessa época o artigo atraiu pouca atenção, mas tornou-se um trampolim para o “início de uma revolução na física”. (EISBERG E RESNICK, 1979, p.19)

Nesse contexto, importa separar e diferenciar as duas teorias que surgiram com a resolução do enigma do espectro da radiação térmica: teoria da relatividade e física quântica. Como comenta Eisberg e Resnick (1979, p. 19), a relatividade estende para a aplicação das leis físicas para a região de grandes velocidades e a quântica para região de pequenas dimensões. Assim, menciona-se como exemplo característico de cada teoria as seguintes conjunções: teoria da relatividade – caracterizada pela constante fundamental da velocidade da luz (c); e teoria quântica – caracterizada pela constante de Planck (h).

Em suma, cabe lembrar, a respeito da cor da radiação, que existe dois elementos que contribuem para nossa percepção das cores dos corpos: 1 - a temperatura (emissão de luz/ radiação); 2 – a luz que refletem. Eisberg e Resnick (1979, p. 20), diz que “independentemente dos detalhes de sua composição, verifica-se que todos os corpos negros à mesma temperatura emitem radiação térmica com o mesmo espectro.” Por fim, considera-se que a compreensão desse fenômeno tem ajudado os astrofísicos na escolha de teorias para entender a origem do universo e calcular a temperatura de um corpo, por exemplo, uma estrela, fazendo uso de sua emissão térmica (cor).

5 METODOLOGIA

A maior preocupação do professor de física durante as suas aulas, provavelmente, deve estar vinculado a criação de metodologias capazes de integrar a teoria e a prática. Muitos docentes tem pedido ajuda, mas a realidade pode ser descrita assim: falta incentivo ao professor; o suporte pedagógico é precário; os livros disponibilizados não atendem aos estudantes; e por fim, as condições estruturais e pedagógicas são inadequadas para o ensino (não há laboratório, internet, datashow e outras).

Com isto, busca-se nesse capítulo apresentar uma proposta de trabalho pedagógico interdisciplinar e que se fundamenta na teoria do pensamento complexo de Edgar Morin fazendo uso de uma sequência didática por meio da utilização da arte narrativa. Assim, foi possível contribuir com um planejamento inovador para execução das aulas de Física no campo da Radiação do Corpo Negro.

5.1 Caracterização da pesquisa e ambiente de aplicação

Propõe-se para a pesquisa a aplicação do método de pesquisa qualitativo, pois é indicado para o estudo em que a realidade não se esclarece somente com a pesquisa quantitativa. Portanto, a abordagem qualitativa é fundamental para compreender os processos complexos de ensinagem e aprendizagem, como também, as relações que interferem ou potencializam a transposição didática¹⁸ no ensino de física.

Para Chizzotti (2006) a abordagem qualitativa implica para o pesquisador a compreensão de que existe

[...] uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, uma interdependência viva entre o sujeito e o objeto, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito-observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos, atribuindo-lhes um significado. O objeto não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações.

¹⁸ Para Chevallard (1991) transposição didática significa transformar um saber científico em “conhecimento para ser ensinado”. Para maiores informações indica-se: CHEVALLARD, Yves. La Transposicion Didactica: Del saber sabio al saber enseñado. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

Diante disso, vale a pena observar que a prática exploratória do ambiente de pesquisa e a familiaridade com o problema, permite o alcance dos objetivos propostos, a inferência das hipóteses e a solução das questões elencadas pela pesquisa. Deste modo, visa-se encontrar mais informações sobre os benefícios da utilização da arte narrativa na escola, especificamente nas aulas de física.

Segundo Gil (2008) a prática qualitativa permite ao pesquisador aperfeiçoar as ideias e fazer descobertas por intuição. Deste modo, assume-se um trabalho do tipo pesquisa-ação, onde pesquisador e participantes participam do processo de forma cooperativa. Assim, todos recebem papel ativo durante a participação nos fatos e nas realidades encaminhadas.

Conforme Brandão (1984) a pesquisa-participante (PP) é uma pesquisa de caráter social e empírica. Trata-se de uma ação concebida e realizada para resolver um problema coletivo, no qual os pesquisadores e os participantes da situação estão envolvidos de modo cooperativo e participativo.

De certa maneira, isto nos ensina que esse tipo de investigação permite o investigador frequentar o ambiente (local de estudo), acompanhar as atividades (ambiente natural da pesquisa) e fazer coleta e interpretação dos dados coletados com mais precisão.

Desta maneira, vale a pena abordar e descrever a forma em que foi feito a coleta de dados. Com isto, foi aplicado três questionários com questões objetivas (só pode escolher uma alternativa) e subjetivas (permite a liberdade de resposta).

Estes questionários assumirão as seguintes características: primeiro – identificar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito da radiação do corpo negro; segundo - inferir sobre o nível de aprendizagem dos alunos que participaram da sequência didática e do processo de contação de história; terceiro – ponderar sobre o uso da arte narrativa no ambiente escolar, especialmente, nas aulas de Física.

Para tanto, os fenômenos, as informações e os dados coletados serão classificados e analisados conforme os recursos e as técnicas da estatística. Assim, espera-se fazer a relação dinâmica entre objetividade e subjetividade. Isso implicará na utilização da abordagem quantitativa.

Contudo, no balanço dos dados, deve prevalecer o caráter qualitativo, pois nesse ambiente o pesquisador perceberá, além das respostas objetivas e subjetivas do questionário, outros elementos que não foram planejados para a pesquisa, como: as condições de ensino, o compromisso dos estudantes, as falas dos alunos sobre a

escola e a disciplina, os desafios do professor, as dúvidas discentes e outros. Porém, muitas respostas dos questionários precisaram ser processadas quantitativamente.

A aplicação da pesquisa foi feita com os alunos do 3º ano do turno da manhã e tarde (cerca de 105 estudantes), no entanto, devido a pandemia o número de aluno se restringiu a vinte (20) que aceitaram participar do projeto. Esses discentes estão no último ano do Ensino Médio e provavelmente motivados para participar de algo desafiador e diferente.

E ainda mais, a ementa da disciplina de Física dessa última etapa da Educação Básica, faz referência para o final do ano letivo ao tema da Física Moderna. Outro detalhe é a idade média dos discentes, contabiliza-se em 17 anos. Desta maneira, ressalta-se que essa fase da vida é também marcada pelo desejo de participar de atividades desafiadoras, significativas e ousadas. Assim, a pesquisa para esses adolescentes-jovens se torna muito produtivo e significativo.

Nessa perspectiva, destaca-se Bogdan e Biklen (1994), que argumentam que o investigador é o instrumento principal nesse processo. Deste modo, o produto educacional foi aplicado através de uma sequência didática com o uso da contação de história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”.

Em síntese, a sequência foi constituída de 8 (oito) aulas de 50 minutos cada uma. Nesse período, os dados foram coletados através dos três questionários, como também, por meio do diário de bordo do pesquisador e produções dos alunos.

5.2 Etapas da sequência didática

Ao pensar sobre a necessidade de se fazer uma reforma nas práticas de aulas do ensino de física, fez-se necessário preparar uma sequência de didática permeada de contação de história para ensinar e aprender no terceiro ano do ensino médio o conteúdo curricular Radiação do Corpo Negro. Desta maneira, espera-se que a proposta auxilie o professor no seus atos pedagógicos.

Com isso, traz-se à tona, que sequência didática refere-se ao “conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes.” (KOBASHIWAGA e et al, apud BATISTA 2016, p.41) Portanto, quando se usa essa ferramenta é necessário que o professor pense cuidadosamente cada etapa e tenha consciência do que deseja no final da aplicação das sequências.

Tabela 04: Etapas da aplicação do produto educacional.

Etapas	Ações
1 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar sinteticamente o projeto de pesquisa aos participantes - Assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) - Aplicar o Questionário I
2 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Fazer uma leitura dirigida da parte 1 da história de Physis - Organizar as equipes (cinco) para fazer apresentação através de maquete, dramatização, ilustrações e outros meios - Motivar cada um conhecer todo o enredo
3 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver uma aula dialogada com uso de power point sobre as principais dificuldades e curiosidades dos estudantes sobre o tema RCN - Resolver três situações problemas sobre radiação do corpo negro
4 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar o cenário e acompanhar as apresentações das equipes no Auditório - Aplicar o Questionário II através do Google Formulário
5 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicar o Questionário III através do Google Formulário

Fonte: O autor (2021).

Na perspectiva do aprendente ativo, abordagem interdisciplinar e visão complexa de mundo, concebe-se a seguir uma sequência didática proposta e planejada para ensinar RCN através da arte da narração. Deste modo, trata-se de um passo a passo bem organizado para ajudar o professor de física na ensinagem da temática citada.

5.2.1 Primeira Etapa

Nesse momento preliminar, foi imprescindível apresentar a proposta de ensino aos alunos e seus respectivos objetivos. Na sequência, deve-se aplicar o primeiro questionário¹⁹ para identificar os conhecimentos prévios dos discentes sobre o tema eleito. Essa etapa será realizada em duas aulas de 50 minutos cada uma.

Nessa fase, foi fundamental fazer a indicação da história (O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas) a ser utilizada nos próximos

¹⁹ O questionário aplicado encontra-se nos anexos/ apêndices desta dissertação. Vale dizer também que nesse momento 1 (duas aulas de 50 minutos) os estudantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

encontros. Para isto, o professor deve adotar uma postura motivadora (compreensão, engajamento e mobilização dos alunos pela proposta de aula) e de disposição para seguir a sequência de trabalho.

5.2.2 Segunda Etapa

Nessa etapa, importa dialogar e conhecer a opinião dos alunos sobre as aulas de físicas e as necessidades de inovação. É o momento do aluno fazer um contraste, segundo a sua própria percepção, o que fica e o que deve ser mudado nas aulas. Assim, cada aluno terá oportunidade de fazer sugestões sobre ferramentas e técnicas de ensino.

Os objetivos são: fazer os discentes participarem das aulas, conhecer seus pensamentos sobre a escola e o ensino de física, organizá-los em grupos (para fazer a apresentação na última etapa da aplicação do produto) e identificar os conteúdos de cada parte da história de Physis.

Com isso, o professor deve criar um ambiente contagiante, fazendo a leitura da parte 1²⁰ da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” e mobilizar a turma para fazer a aquisição do material. Dessa forma, espera-se que os estudantes fiquem curiosos para conhecer todo relato. Depois dos grupos (cinco) organizados pelo professor. Os estudantes devem ser desafiados a conhecerem na íntegra a história do Physis, como também, organizar uma apresentação em equipe sobre a narrativa, fazendo uso das ferramentas: maquetes, dramatização, narração feita por um aluno caracterizado, flanelógrafo e ilustrações/desenhos.

Deste modo, as aulas assumem outra interface, pois serão desenvolvidas com auxílio da arte narrativa, na qual o professor mobilizará e trabalhará a leitura da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”. Fará intervenções e explicações, criará condições para discutir o texto em grupo ou com a turma e promoverá a resolução de exercícios de aplicação (resolvidos no final das atividades da terceira etapa)²¹. Para tanto, as atividades propostas foram feitas com auxílio do professor em classe.

²⁰ Essa foi a única parte da história que foi lido coletivamente (o pesquisador leu para todos os participantes – momento de motivação). As demais partes foram lidas em grupo pelos alunos.

²¹ Essas questões foram resolvidas no final da leitura da história de Physis e ponderações dos discentes. As mesmas estão disponíveis nos anexos/ apêndices dessa dissertação.

Vale lembrar que o trabalho em grupo na sala de aula ou fora dela, permite ao professor e ao aluno experimentar que ao mesmo tempo em que se ensina também se aprende e vice-versa. Pois, o êxito acadêmico não é uma tarefa solitária (esforço individual), mas uma consequência das ações sinérgicas (cooperação). (LOPES e SILVA, 2009) Assim, os estudantes foram orientados a retornarem para a próxima etapa preparados para fazerem uma discussão coletiva sobre a história de Physis.

Nisto, observa-se na tabela a seguir a identificação dos conteúdos que foram estudados em cada encontro e em cada parte da arte narrativa (dividida em 5 partes).

Tabela 05: Conteúdos a serem ministrados com aplicação da arte narrativa.

O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas	Conteúdos
Parte 1 – Céu da física	Cor da radiação; Origem da teoria da relatividade e física quântica.
Parte 2 – Viagem ao céu da física	Radiação do corpo negro
Parte 3 – Tesoura da caverna misteriosa	Catástrofe do ultravioleta
Parte 4 – Crises, enigmas e catástrofes	Leis associadas à radiação da cavidade
Parte 5 – Physis na sala do espanto	Física das radiações

Fonte: O autor (2020).

Nesta ótica, esclarece que a partir de cada encontro, faz-se essencial revisar o que ocorreu e o que foi discutido na etapa anterior (são duas de aulas semanais). Nesse momento, importa tirar as dúvidas dos alunos e corrigir as possíveis questões deixadas (pesquisa ou problemas a serem resolvidos) como dever de casa.

Busque estimular o espírito pesquisador dos estudantes para que eles sejam mediadores da própria aprendizagem. Mas não esqueça de sempre perguntar o que estão pensando e achando sobre a história que estão lendo. No final dessas duas aulas (50 minutos cada uma) é importante que o professor separe 20 minutos para conversar sobre as dificuldades, as dúvidas e as sugestões das próximas etapas.

5.2.3 Terceira Etapa

Nesse encontro são necessários realizar duas aulas dialogadas sobre os conhecimentos prévios dos alunos (identificados no questionário 1) e fazer uma revisão do tema através de power point²². O professor deve focar a discussão nos conceitos em que os discentes não obtiveram sucesso. É importante discutir também as expressões e as definições de RCN que aparecem ao longo do enredo (história de Physis).

Essa etapa tem como objetivo principal consolidar as ideias subsunçoras (conhecimentos prévios) que garantem a continuidade da aprendizagem e que ajudará na compreensão das atividades que ocorrerão com o uso da arte narrativa. Por sua vez, vale a pena comentar que essa temática é estudada superficialmente, conforme a Base Nacional Comum Curricular²³, no ano anterior (2º ano do Ensino do Médio), como um dos subitens da Termodinâmica (Propagação de Calor – Convecção, Condução e Radiação).

Por fim, no final desse encontro, importa saber sobre o andamento e a preparação das equipes que farão a apresentação (dramatização, maquete, desenhos, figurinos e outros) na semana seguinte.

5.2.4 Quarta Etapa

Essa etapa foi separada com uma única intenção: assistir e apreciar as cinco partes da história de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas. As apresentações foram planejadas para serem apresentadas no Auditório da Escola Municipal José Cândido (Ourilândia do Norte-PA). No plano, o cenário foi custeado pelo pesquisador e construído com o apoio da coordenadora da unidade ensino.²⁴

Devido a pandemia de COVID-19, não ficou de fora as orientações de higiene, como o uso de álcool gel 70 e máscara. Assim, o convite para assistir ao espetáculo foi direcionado apenas a equipe gestora da escola e os estudantes que participaram das aulas.

²² As lâminas dessa apresentação em power point estão disponíveis nos anexos/ apêndices desta pesquisa.

²³ Para entender e conhecer mais sobre BNCC, acesse o link: basenacionalcomum.mec.gov.br

²⁴ As fotos e as imagens podem ser vistas nos anexos/ apêndices desta pesquisa.

Por fim, foi *necessário*²⁵ aplicar o questionários II através do Google Formulário, visando avaliar e medir os níveis de conhecimento obtidos pelos alunos em relação ao conteúdo de radiação do corpo negro. Eles solucionaram os problemas individualmente e através do seu próprio smartphone (solicitar e orientar antecipadamente os participantes sobre esse momento). As questões buscavam saber o domínio dos participantes sobre as cores da radiação, o conceito de RCN, a definição de Catástrofe do Ultravioleta, as principais leis da radiação da cavidade e outros subitens relacionados.

5.2.5 Quinta Etapa

Nessa etapa, fez-se a aplicação do questionário III que teve como fim sondar as opiniões dos alunos sobre o uso da contação de história no ensino de física. Dessa forma, buscou-se avaliar o uso do questionário utilizado para identificar os conhecimentos prévios; a aula dialogada com power point; a leitura e as apresentações da história de Physis; o uso da narrativa como técnica ensino; e outros elementos.

5.3 Descrição do produto educacional

Convém agora descrever e apresentar o produto educacional desta dissertação. O mesmo está vinculado ao campo de pesquisa denominado Física e Cultura. A ferramenta em questão foi originada pelas provocações que aparecem na Tese de Doutorado do professor João Zanetic²⁶ sobre Física e Cultura. Nela, o autor, discute, entre tantas outras coisas, a existência da aproximação da física com a literatura.

Por conseguinte, no que se refere, sobre o aspecto de receber informações detalhadas, recomenda-se acessar a estrutura completa do produto educacional no final dessa pesquisa (Anexos/ Apêndices). Em contato com ele, o docente poderá analisá-lo e deixar seu juízo de valor. Assim, apresenta-se sinteticamente esta

²⁵ Alguns pais dos estudantes manifestaram preocupações, pois o período era “#ficaemcasa”. Com isto, a etapa seguinte foi realiza à distância.

²⁶ É professor doutor do Departamento de Física Experimental do Instituto de Física da USP. Atua no Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências, do qual fazem parte os institutos de Física e Química e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. (ZANETIC, 2005, p. 24)

ferramenta de ensino através de dois subitens: referências e apoio literário; e as dimensões do “Mundo mágico de Physis”.

5.3.1 Referências e apoio literário

A história de Physis é uma ficção literária, porém os principais e mais importantes conceitos sobre radiação do corpo negro são abordados. A presente literatura foi referenciada pelos principais nomes da física mundial e bebeu de fontes que tratam da história dos conceitos da Física Moderna, como também, da ciência didática.

O texto foi pensado para adolescentes e jovens, por isso traz uma linguagem carregada de rimas, gírias, poesia, situações de bom-humor e pensadas sobre a vida. O objetivo não é só ensinar o conteúdo, mas também envolver o estudante na trama. Deste modo, deseja-se encantar os discentes para as tarefas escolares e ao mesmo tempo experienciar a complexidade da vida.

Em conclusão, reflete-se que o tipo textual da história de Physis é difícil de ser caracterizado, porém alguns elementos fornecem indicações sobre tal situação. Exemplo: o enredo pode ser facilmente utilizado para dramatização, os personagens surgem e desaparecem visando atender o fio narrativo, a linguagem acompanha os hábitos regionais, o espaço é deslocado para diferentes locais, os fatos estabelecem ligações entre si, e por último, o uso de rimas e poesia. Assim, os elementos atestam para o gênero literário novela – romance – conto (narra os conflitos entre as pessoas, consigo mesma e Deus).²⁷

5.3.2 As dimensões do “Mundo mágico de Physis”

A contação de história se divide em cinco partes. Cada parte traz um enredo e uma lista de conceitos sobre radiação do corpo negro. Desse modo, os personagens principais são: Physis e Lorde Kelvin. Os dois vivem grandes aventuras.

Para tanto, torna-se importante dizer que a história foi organizada em cinco momentos denominados de partes, são eles: *Parte 1 – Céu da física; Parte 2 – Viagem ao céu da física; Parte 3 – Tesouro da Caverna Misteriosa; Parte 4 – Crises, Enigmas e Catástrofe; e por fim, Parte 5 – Physis na sala do espanto.*

²⁷ Para conhecer mais indica-se a leitura no portal professor.luzerna.ifc.edu.br

O enredo descreve um garoto que vivia triste e não gostava da escola, mas sua vida mudou quando Lorde Kelvin encontrou-o. O relato vai falar do encontro de Physis com Lorde Kelvin nas duas nuvens do céu da física, a viagem que fizeram nas duas nuvens para um planeta distante da terra, a entrada dos dois na caverna “abre-te-sésamo”, os desafios no Labirinto LaSalle e, por fim, câncer mortal de Physis.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Discussões sobre a aplicação da sequência didática

A proposta foi aplicada, no último trimestre de 2020, no colégio estadual de ensino médio Dr. Romildo Veloso e Silva, localizado no centro da cidade de Ourilândia do Norte-PA. A realização da pesquisa e aplicação do produto sofreram muitos impactos por ocasião da pandemia do COVID-19: cumprimento da sequência didática (SD); organização dos trabalhos em grupo; e encontros presenciais - socialização de conceitos (aula dialogada com o uso de power point) e apresentações (produto final da SD no auditório da escola escolhida).

Com isto, destaca-se, que durante a aplicação do produto educacional as aulas presenciais já estavam paralisadas. Portanto, o desafio seria gigante. As turmas estavam sem aulas presenciais desde do dia 18 de março (2020). Isso iria gerar desinteresse, indiferença, faltas na escola, desmotivação e dificuldade para se envolver e assimilar a proposta de trabalho por parte dos estudantes.

Diante disso, Meirieu (2002, p. 150, 152, 156, 160) faz lembrar, quando discute a resistência dos alunos pelo ensino escolar. Ele diz que para superar o quadro apresentado é necessário: Primeiro: “[...] identificar os centros de interesse dos alunos [...] compreender qual o sentido de suas motivações, [...]”; Segundo: “[...] uma aprendizagem só é possível quando articulada aos saberes anteriores, que possibilitam o acesso a ela”; Terceiro: “[...] os alunos estão amarrados a uma infinidade de representações de todas as espécies, antes mesmo que se inicie o ato de ensino”; Quarto: evitar as estratégias pedagógicas “que não enrique absolutamente seus repertório cognitivo”, afetivo e social, mas “inclusive constitui um freio para o seu desenvolvimento”; Quinto: muitos deixam a escola, devido a sua condição social; Sexto: criar uma ação combinada para discutir sobrevivência pessoal (transformar as própria história) e coletiva (sociabilidade solidária); Sétimo: não comprometer o vínculo social e nem as mediações culturais.

Além desses fatos, registra-se também o comentário da Gestora Escolar²⁸ de que o momento era de medo e desmotivação dos alunos²⁹. Ela dizia que seria complicado a aplicação dessa sequência didática, pois muitos alunos não estavam participando das aulas dos seus respectivos professores (Educação Regular). Contudo, estava à disposição para ajudar e contribuir. Deste modo, foi imprescindível usar as tecnologias digitais educacionais de acesso fácil e com disponibilidade (smartphone) para dos estudantes. Desse modo, foi fundamental modificar e *fazer arranjos*³⁰ no planejamento.

Assim, para cumprir a sequência didática e organizar os trabalhos em grupo, tornou-se necessário criar um grupo de Whatsapp, denominado de “Physis”. Além disso, foi inevitável dividir os estudantes em duas turmas de 10 alunos (manhã e tarde). Com isto, vale mencionar também, nesse contexto, que três turmas (105 alunos) da escola foram convocadas, porém só vinte estudantes compareceram.

A aula dialogada (após a aplicação do Questionário “conhecimentos prévios”) aconteceu com a utilização de power point e número reduzido de discentes (dez). A preparação dos trabalhos (teatro, ilustrações, maquetes, etc.) e a leitura da história “O mundo mágico de Physis” foram realizadas em grupos menores, fora do ambiente escolar. E, por causa do vírus, as apresentações, as atividades finais (Questionário 2 – Quarta Etapa e o Questionário 3 – Quinta Etapa - através do Google formulário) e o ambiente de contação de história, deram-se em outra escola, Auditório da escola municipal José Cândido, localizada no Setor Aeroporto da cidade Ourilândia do Norte-PA.

Assim, buscou-se atender as exigências e as medidas de saúde pública (evitar aglomeração, uso de máscara, ambientes ventilados e higienização com álcool em gel 70%) provocadas pelo coronavírus. Com efeito, todos os cuidados foram tomados, conforme pedidos da escola e das autoridades (municipais, estaduais e federais) competentes.

Para tanto, como diz Arroyo (2013, p. 163) “a dinâmica pedagógica que se cria, ou melhor, se acelera com a tentativa de organizar nosso trabalho (...) pode significar um reencontro com a teoria pedagógica e com nossa condição de

²⁸ O representante da escola que recebeu a solicitação para aplicação do produto educacional.

²⁹ “O cenário mais comum que encontramos no ambiente escolar é a apatia e o desinteresse dos alunos, que parecem não entender o que estão fazendo na escola.” (GURGEL E WATANABE, 2017, p. 08)

³⁰ A Quinta Etapa foi realizada a distância através do Google Formulário.

educadores.” Dessa maneira a situação cobrou da pesquisa o preço do exercício da flexibilidade, replanejamento e reencontro entre o pensamento e a prática, o mundo das ideias e a realidade.

6.1.1 Primeira etapa – Aulas 1 e 2

Nessa etapa foi apresentado o projeto de pesquisa (a sequência de aulas e o planejamento com as datas dos encontros) e solicitado a assinatura do termo de participação (TCLE). Os discentes tiraram suas dúvidas e se comprometeram, não só em vir para os próximos momentos, como também, seguir as orientações e protocolos de saúde pública e escolar.

No mesmo dia, ainda foi possível aplicar o Questionário I (Identificar os conhecimentos prévios dos educandos sobre Radiação do Corpo Negro) composto de 09 (nove) questões. Cada aluno foi orientado a responder as perguntas individualmente e sem consultar livros, meios digitais e outras fontes. O ato foi significativo para conhecer os conceitos preliminares (conhecimentos que já possuíam) dos discentes e fundamental para o professor elaborar um power point com as informações adequadas sobre os saberes a serem alcançados.

Durante a aplicação do questionário os alunos ficaram em silêncio e, demonstraram estar ansiosos e preocupados. Talvez, por causa do tema (assunto desconhecido, como alguns deles comentaram) e da disciplina escolar (Física). Alguns perguntaram se não tinha conta e cálculos, pois comumente as aulas de físicas são recheadas de continhas.

Diante disso, destaca-se que os resultados e as discussões sobre o Questionário I:

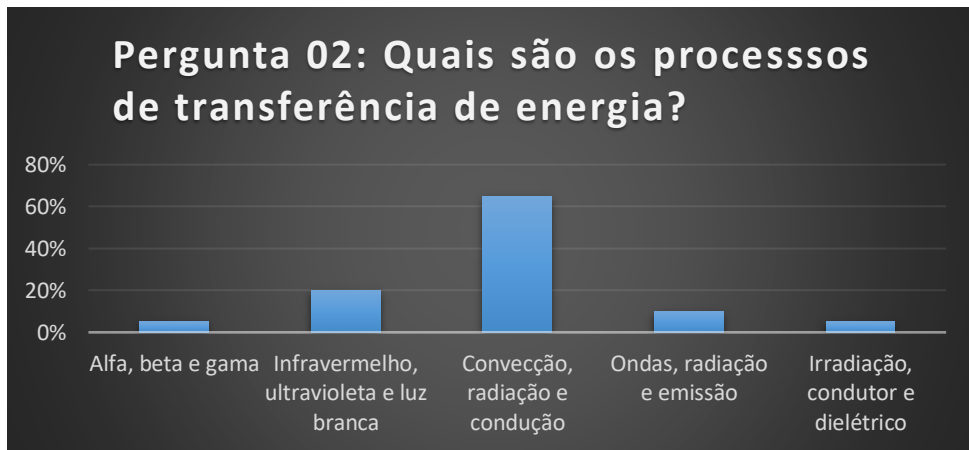
A primeira pergunta dizia: Foi publicado um artigo em 1901, versão revisada de um discurso proferido no ano de 1900 por Lorde Kelvin, cujo o título é: "Nuvens do século dezenove sobre a teoria dinâmica do calor e da luz". A partir disso, responda: Que nuvens eram essas?

Neste questionamento, 100% dos estudantes responderam “nunca ouvi falar sobre isso”. Por outro lado, uma aluna deixou um comentário: “(...) isso me faz lembrar de vários assuntos, por exemplo, a relação da luz e das cores (...) e também algumas outras coisas sobre a relação do calor e da luz.” Deste modo, percebe-se a confusão

de ideias e, ainda que esses temas e esses fatos não frequentam as salas de aulas do ensino médio.

A segunda questão afirmava: Sabemos que o calor é uma forma de energia. A sua propagação ocorre de forma espontânea, de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura. Assim, pode-se identificar três tipos de propagação de calor. Portanto, os processos de transferência de energia são: a) () Alfa, beta e gama; b) () Infravermelho, ultravioleta e luz branca; c) () Convecção, radiação e condução; d) () Ondas, radiação, emissão; e) () Irradiação, condutor e dielétrico. Nesse contexto, conclui-se que (veja o gráfico 01)

Gráfico 01: Resultado da resposta 2 do questionário I.

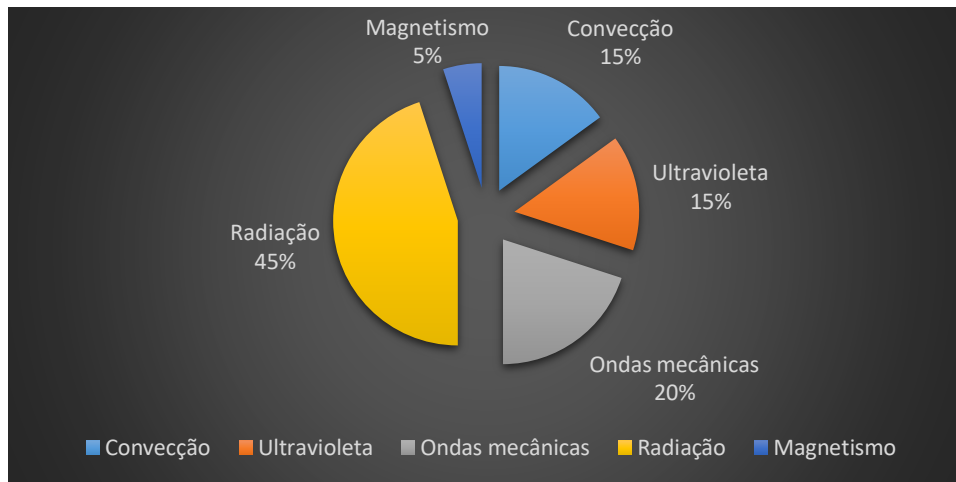


Fonte: Autor (2020)

O gráfico aponta que 65% dos discentes conhecem ou ouviram falar sobre as três principais formas de propagação de calor. Isso pode revelar que em algum momento entraram em contato com o tema da radiação. Por outro lado, 35% desconhecem as principais ideias e conceitos relacionados com a propagação do calor.

Na terceira questão, que está relacionada com a segunda, buscou-se saber e diagnosticar sobre o nome do processo de troca de calor que ocorre no vácuo. As respostas revelaram a seguinte situação. Veja o gráfico 02.

Gráfico 02: Resultado em porcentagem obtidos na pergunta 3 do questionário I.



Fonte: Autor (2020)

Com base no gráfico acima, percebe-se que 45% dos discentes conseguiram identificar a radiação como processo de propagação de calor no vácuo. Os demais fizeram opções equivocadas e responderam erradamente a pergunta. Dessa maneira, nota-se que o entendimento dos discentes sobre o tema estão distante do almejado (definir radiação térmica) para turmas de 3º ano de Ensino Médio.

A questão 04 visou avaliar os conhecimentos a respeito do conceito de corpo negro. A partir disso, dezessete dos estudantes responderam da seguinte forma:

“Não sei.”

“É que boa parte dos objetos escuros absorvem calor mais rapidamente que os demais, por exemplo: uma roupa de cor preta vai absorver mais calor que uma roupa de outra cor.”

“É um corpo que não emite energia: buraco negro.”

“Corpo negro seria um corpo capaz de absorver totalmente (acho que totalmente) essa energia.”

“Não sei responder.”

“Não sei falar sobre este assunto.”

“Nunca ouvi falar sobre isso: corpo negro.”

“O corpo negro é considerado um receptor e um emissor perfeito de calor. Quanto mais temperatura tiver, mais energia emitirá.”

“Corpo negro está ligado ao que emite energia como o Sol.”

Pode-se perceber que a maioria dos discentes não tem conhecimento e nunca ouviram falar sobre corpo negro. Por outro lado, três deles, ainda que de forma

distorcida, expressaram ideias significativas sobre radiação do corpo negro: “*um corpo que absorve calor e se aquece*”; “*a cor preta absorve mais energia que a branca*; e por fim, “*um excelente absorvedor de radiação*”. Essa é a razão do professor fazer o diagnóstico da turma e identificar os conhecimentos prévios dos estudantes. Pois, fica fácil elaborar uma didática adequada de trabalho para atender os estudantes.

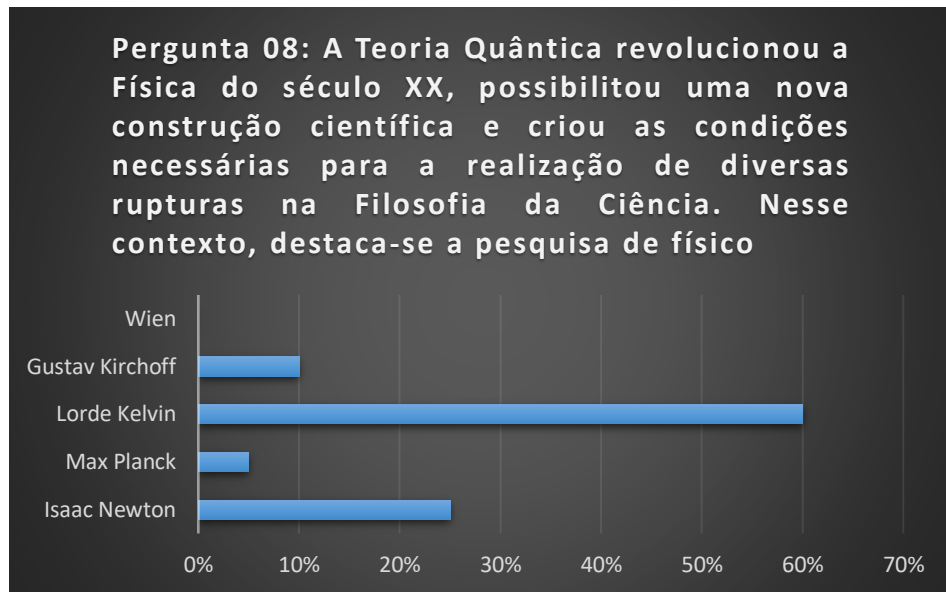
Na sequência, foram respondidas as perguntas cinco, seis e sete. Respectivamente, desejou-se conhecer: Um corpo negro sempre aparenta ser negro? O sol é corpo negro? Mencionar uma lei que trata sobre o problema do corpo negro. Qual é a origem da catástrofe do ultravioleta? Com esses questionamentos observou-se as seguintes respostas: 30% disseram que o corpo negro sempre aparenta ser negro; 40% afirmaram que o Sol não é um corpo negro; e 100% exprimiram que não conhece nenhuma lei relacionada a solução do problema da equipartição de energia e nem sobre o conceito de catástrofe do ultravioleta.

Infelizmente, um currículo escolar defasado e aulas que negligenciam os conhecimentos físicos produzidos no século XX e XXI geram desconhecimentos e afirmações incorretas e inadequadas sobre temas importantes da vida como radiação do corpo negro.

Com base nisso, Moraes (1997) expressa que as influências do pensamento cartesiano-newtoniano não percebe as mudanças e evolução ao seu redor, pois promove um processo educacional dogmático, autoritário, fora da realidade e resistente a inovação. Por este motivo, a realidade do aluno, como também, os saberes mais recentes da ciência devem fazer parte do desenho curricular.

Na *pergunta 08* (veja o gráfico 03), somente 5% (um aluno da turma) acertou a resposta da questão em pauta. A maioria esmagadora (85%) fizeram opções por dois nomes da ciência: Isaac Newton (25%) e Lorde Kelvin (60%). Com isto, o fato revela a negligência escolar sobre a história e a presença de conteúdos de física moderna na sala de aula.

Gráfico 03: Resposta da pergunta oito (08) do questionário I.



Fonte: Autor (2020).

Na questão 09 (nove), buscou-se conhecer e discutir a definição do conceito físico de radiação. Deste modo, observa-se que a presente definição foi sendo construída a medida que respondiam os questionamentos anteriores. Assim, os dados apontaram que 85% dos educandos responderam corretamente a situação problema.

Com efeito, sabe-se que o questionário 01 possibilitou conhecer e identificar os saberes construídos pelos alunos sobre radiação corpo negro, conceitos e leis. Desse modo, a situação diagnóstica permitiu ao professor planejar com mais eficiência a próxima etapa das atividades propostas pela sequência didática.

Assim, com o produto educacional, desejou-se constatar, identificar e consolidar os seguintes conhecimentos: enumerar as formas de propagação de calor; conceituar radiação do corpo e relacioná-lo a vida cotidiana; definir a expressão “catástrofe do ultravioleta”; identificar e explicar as principais leis da radiação térmica; e, por fim, conhecer e descrever os principais tipos radiação e seus efeitos (física das radiações).

6.1.2 Segunda etapa – Aula 3 e 4

Nessa etapa da pesquisa, todos foram motivados a ler a história de forma compartilhadas e dirigida pelo docente (cada um aluno faz a leitura de um trecho do texto conforme a indicação do professor). A medida que foi concluído a parte 1 do livro

“O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”, fez-se uma discussão e debate sobre os conceitos físicos e lições de vida.

Com o debate os estudantes foram transformando a sala de aula em uma comunidade científica e, passaram a desenvolver competências e habilidades cognitivas, culturais, sociais e emocionais. Deste modo, tornou-se evidentes comportamentos que fazem parte do exercício da cidadania do bem. Os principais que começaram a emergir, menciona-se: respeito mútuo, prontidão para pesquisa e ciência, autoconhecimento, ausência de julgamentos e bullying e outros.

A medida que os estudantes liam e falavam sobre o Physis, empreendiam uma discussão reflexiva sobre o tema e também sobre o caráter e a vida do personagem principal. Foi notável como a história prendeu atenção de todos e contribuiu para organização do pensamento de cada um. O enredo gerou atenção dobrada e produziu ensino-aprendizagem para o conteúdo. Diante disso, notou-se que tudo o que era lido e discutido foi se consolidando nas estruturas cognitivas e emocionais dos sujeitos.

Para tanto, vale dizer que os principais pontos de destaques identificados pelos alunos e socializados, foram: o uso de gírias; a expressão “Já mivú”; as lições e aplicações para a vida (a história de Physis ainda se repete pelo país); os conceitos acessíveis e compreensíveis sobre radiação do corpo do negro; as imagens dos principais físicos; as citações de músicas e expressões conhecidas; a descrição e a menção de lugares famosos; e outras. Ainda, outro momento ímpar, nessa fase da aplicação, ocorreu com observações e acareações a respeito das curiosidades, por exemplo: Como surgiu o estudo da radiação do corpo negro? Porque a catástrofe é ultravioleta e não infravermelho? O que é um modelo hipotético? E outras situações. De fato, a medida que a aula foi-se encaminhando para o final do texto, os alunos foram lembrando do questionário I e como tinham errado as respostas de muitas questões.

6.1.3 Terceira etapa – Aulas 5 e 6

Com a superação e domínio dos principais conceitos e elaboração e sistematização cognitiva do tema. O ambiente ficou favorável para miniaula dialogada

sobre “Radiação do Corpo Negro”. Com a explanação e uso de imagens, através de um datashow, as ideias mais complexas foram-se consolidando.

No entanto, também foi percebido que conceitos como “quantização da energia” despertaram dúvidas e incompreensões. Por outro lado, destaca-se que os discentes de ensino médio não têm hábitos de pesquisarem sobre temas de física moderna, mas as atividades de contação de história, debate, socialização e miniaula dialogada permitiram a produtividade da aula e participação significativa de todos.

Com a potencialização do processo ensino-aprendizagem e a motivação dos educandos, ficou combinado que na próxima etapa (Aulas 4 e 5) todos os grupos (cinco) organizados fariam as apresentações no Auditório da Escola Municipal José Cândido. Dessa maneira, estabeleceu-se a seguinte organização: grupo 1 – dramatização (Parte 1 – Céu da física); grupo 2 – narrar a história caracterizado (Parte 2 – Viagem ao céu da física); grupo 3 – Flanelógrafo (Tesouro da caverna misteriosa); grupo 4 – Maquete (Crises, enigmas e catástrofe); grupo 5 – Ilustrações (Physis na sala do espanto).

Em suma, conclui-se que as duas aulas fugiram do formato tradicional das aulas de físicas que comumente comentada pelos próprios alunos do colégio público. Foi perceptível o aproveitamento e rendimento do encontro pedagógico. Os alunos saíram dessa etapa com brilho nos olhos e animados para a terceira etapa.

6.1.4 Quarta etapa – Aulas 7 e 8

Nesse encontro, os alunos fizeram as seguintes apresentações, como combinado, a dramatização (um dos alunos representou o garoto Physis) da parte 1 “O céu da física” e, na sequência, os demais grupos foram apresentados seus produtos (ilustrações, maquetes, flanelógrafo e narração da história por um aluno caracterizado). Foi um momento de consolidação, socialização, dúvidas, sorrisos, gargalhadas, fotos e produção científica. Contudo, mesmo no período de pandemia do novo coronavírus, os cuidados de saúde, higiene e proteção foram tomados, e impediram a contaminação dos alunos com o COVID-19. (Veja as imagens em anexo)

Todos foram avaliados. E ficou cogitado que em janeiro do ano seguinte haveria um momento social (noite de pizza) com os participantes. Porém, devido ao aumento da contaminação dos moradores e habitantes do Estado do Pará, não foi possível cumprir esta etapa extracurricular.

Diante disso, foi feito os agradecimentos e dado as orientações para resolução do Questionário II. Foi feito pelo smartphone no mesmo dia. Esse teste foi produzido na plataforma do Google formulário e encaminhado para o grupo de Whatsapp “Physis”. Os objetivos desses questionamentos perpassam pelo ato de mensuração, reflexão, avaliação e autoavaliação dos conceitos estabelecidos e construídos com a arte narrativa “O mundo mágico de Physis” e aplicação da sequência de aulas.

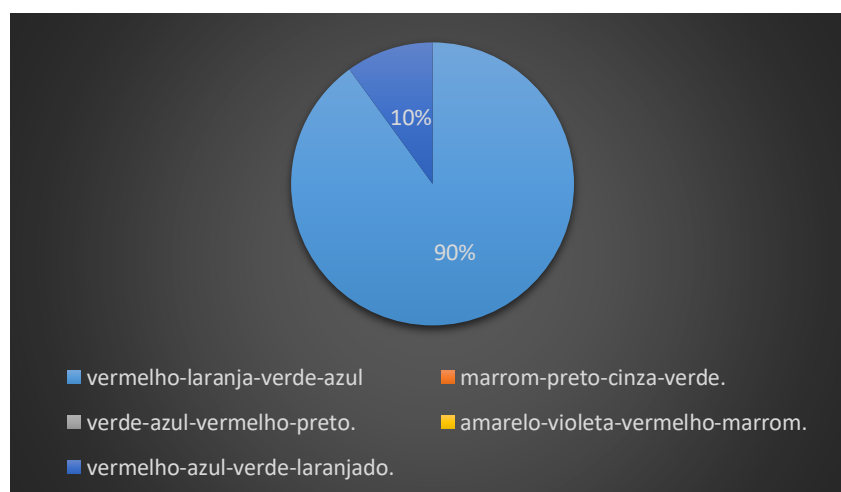
Enfim, o bom educador assume o papel de oportunizar ao educandos ambientes de descoberta, investigação e curiosidade. Lugares e experiências que favoreçam a produção de saberes. Assim, a escola deve ser um espaço pertinente e significativo de aprendizagem.

6.1.4.1 Questionário II

Após a leitura, a miniaula dialogada (power point) e as apresentações no auditório, tornou-se oportuno conhecer as aprendizagens adquiridas e construídas pelos estudantes. Com isto, os discentes foram desafiados a responder 14 questões objetivas sobre Radiação do corpo negro.

Com a pergunta 1 do questionário II buscou-se avaliar o conhecimento sobre a gradação das cores da radiação. Nesse ponto, 90% dos alunos marcaram corretamente a opção. Os demais ficaram com a seguinte resposta: vermelho-azul-verde-alaranjado. O gráfico 4, retrata essa realidade.

Gráfico 4: Resultado em porcentagem obtidos na pergunta 1 do Questionário II.



Fonte: O autor (2020).

Por outro lado, na questão 2 buscou-se saber o seguinte: Qual é a forma propagação de calor que pode acontecer tanto no meio material quanto no vácuo? Em seguida, o problema colocou em destaque as opções: convecção, condução, brisa, radiação térmica e éter. Diante disso, em ordem decrescente foram marcadas: 75% radiação térmica; 20% convecção; e 5% éter. Apesar do número de acertos serem consideráveis, os 5% que ficaram com alternativa éter não lembraram do conceito de radiação (energia que se propaga sem meio material - eletromagnética).

A terceira foi notável, visou identificar dois exemplos de corpos negros. Ficou assim: 75% deles identificaram a lâmpada fluorescente e o corpo humano; 25% deles responderam equivocadamente, marcando éter e catástrofe da ultravioleta; os outros 5% disseram ser o zero absoluto e condução. Na sequência, a questão número quatro, que tratava da expressão Rayleigh-Jeans em relação curva experimental, alcançou-se 95% a conclusão de que a catástrofe da ultravioleta refere-se “a comparação entre a curva experimental da intensidade de radiação do corpo negro em função da frequência e a curva teórica prevista pela expressão de Rayleigh-Jeans [...]”³¹.

Com efeito, a compreensão do conceito de catástrofe ultravioleta e sua associação ao fenômeno da equação de Rayleigh-Jeans, demonstrado em gráfico esboçado sobre um plano cartesiano, torna-se necessário ao professor refletir sobre a sua prática escolar, como também o ato de subestimar os estudantes referentes aos temas da física do século XIX até o XXI.

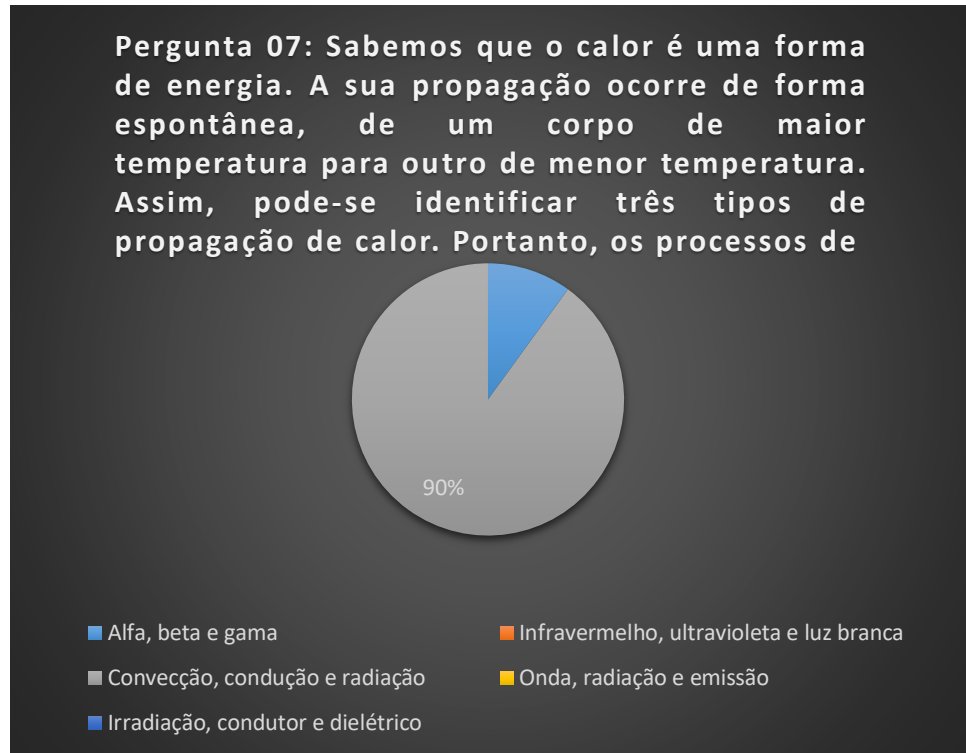
A evolução da aprendizagem dos discentes demonstram um crescimento intelectual e reflexivo dos estudantes. Isso revela a capacidade desses jovens para conhecer e aprender sobre Física Moderna. Como respaldo dessa conclusão, menciona-se pergunta 5 (O que absorve toda a energia radiante que nele incide?), onde 95% dos educandos conseguiram definir o que é corpo negro. Além disso, na questão 6 (identificar as duas nuvens do céu da física), observou-se que 95% dos participantes consolidaram que o éter (Relatividade) e a equipartição de energia (Física Quântica) representam as duas nuvens do céu da física, citado por Lorde Kelvin.

Esses dados significativos revelam que a sequência, a identificação dos conhecimentos, a aula dialogada e a história de Physis foram determinantes para

³¹ Questão 3 do questionário II da pesquisa em pauta.

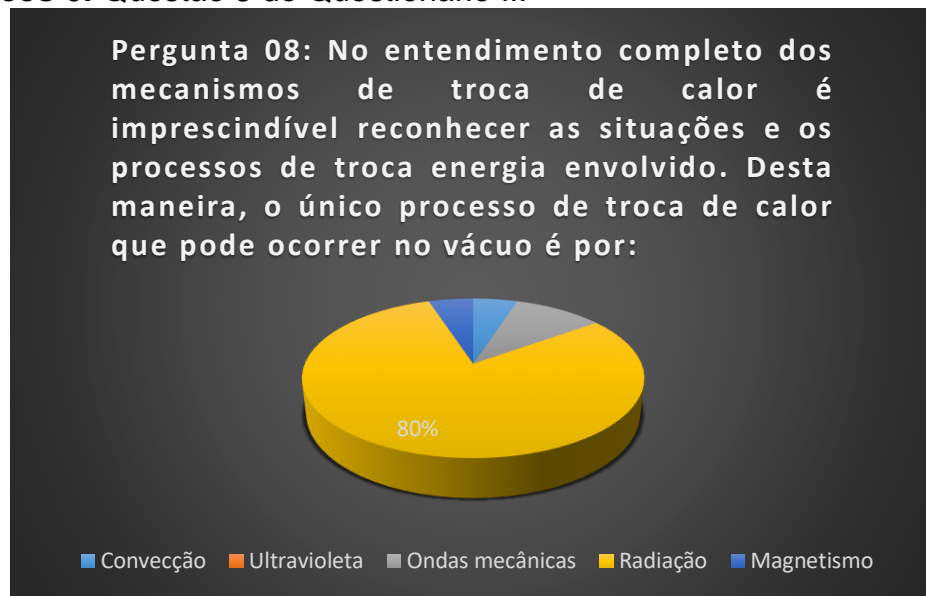
construção e acesso a esses saberes. Provavelmente, a inserção do paradidático desbloqueou o interesse e mobilizou cada estudante para a produção conhecimentos.

Gráfico 5: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 7 do Questionário II.



Fonte: O autor (2021).

Nesse contexto, destaca-se no Questionário II, o fato das perguntas se repetirem. Como exemplo, citam-se as questões 8 e 9, e destacam-se as respostas dos estudantes com variação de acerto, em torno de 5% a 10%. Veja nos gráficos a seguir.

Gráficos 6: Questão 8 do Questionário II.

Fonte: O autor (2021).

Tabela 06: Questão 9 do Questionário II.

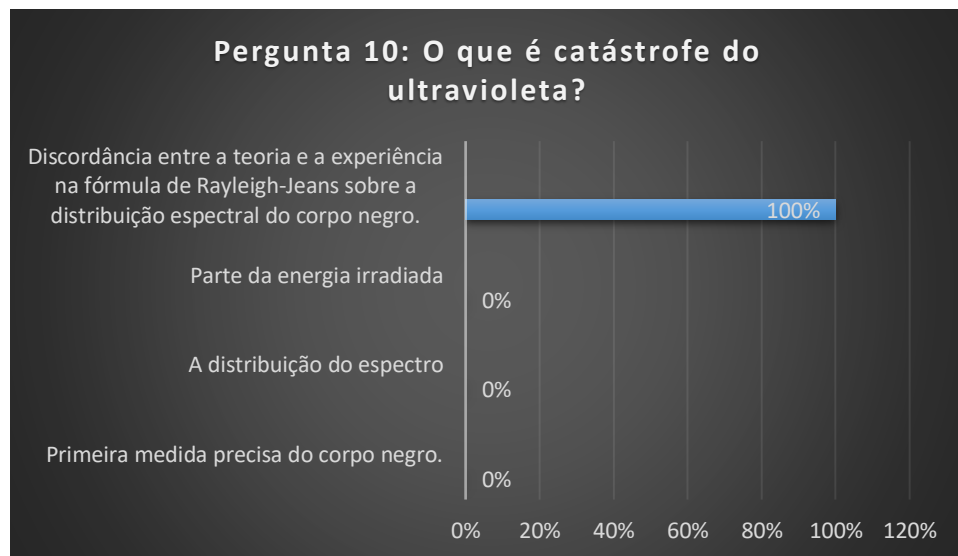
O que é corpo negro?	
<i>Alternativas</i>	<i>Acertos</i>
É um objeto hipotético que absorve toda radiação eletromagnética nele incide.	90%
É um foguete voador.	0%
É uma pessoa de pele morena	0%
É um instrumento utilizado para medir radiação.	10%

Fonte: O autor (2021).

É notável nas opções de respostas de muitas questões sobre a definição do termo radiação e o conceito de corpo negro uma dificuldade de familiaridade com essas palavras, por exemplo, conforme Tabela 06: Pergunta – “O que é corpo negro?” Resposta – “É um instrumento utilizado para medir radiação”. Isso também pode representar desatenção, confusão de conceitos ou interpretação equivocada. Todavia, 80% e 90% dos discentes, respectivamente, compreendem o que é radiação e o que é corpo negro.

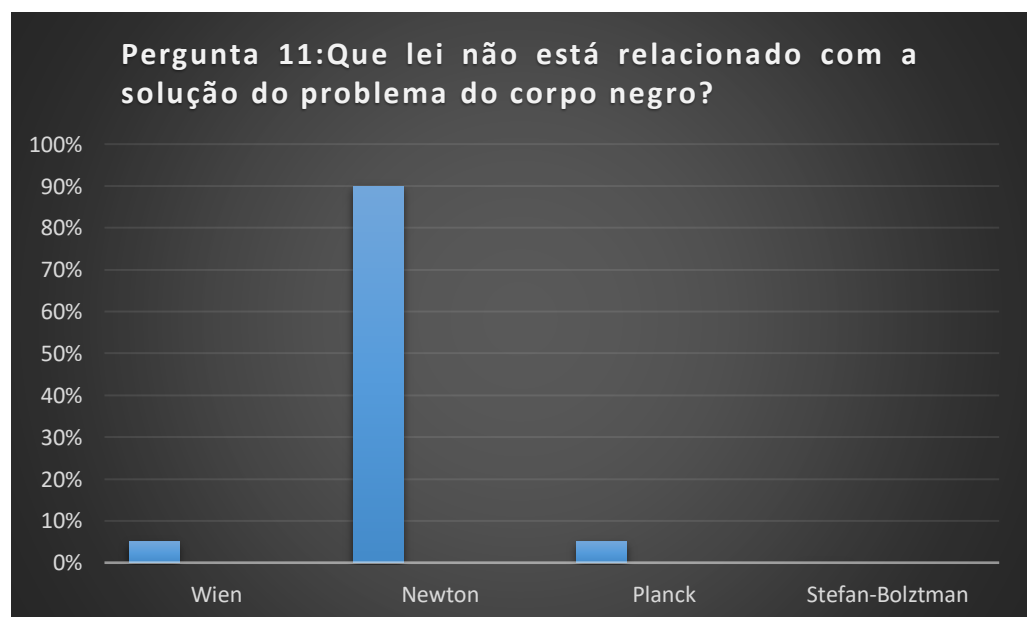
Para pergunta 10, veja o gráfico abaixo. Assim, ressalta-se que no pré-teste (atividade diagnóstica) todos os alunos responderam quase todas as questões dizendo: “nunca ouvi fala disso.” E a questão 10 que trata da catástrofe do ultravioleta não foi diferente. Por outro lado, após a aplicação do produto todos os alunos (100%) conseguiram definir catástrofe do ultravioleta como a “discordância entre a teoria e a experiência na fórmula de Rayleigh-Jeans sobre a distribuição espectral do corpo negro.”

Gráfico 7: Pergunta 10 do Questionário II.



Fonte: O autor (2021).

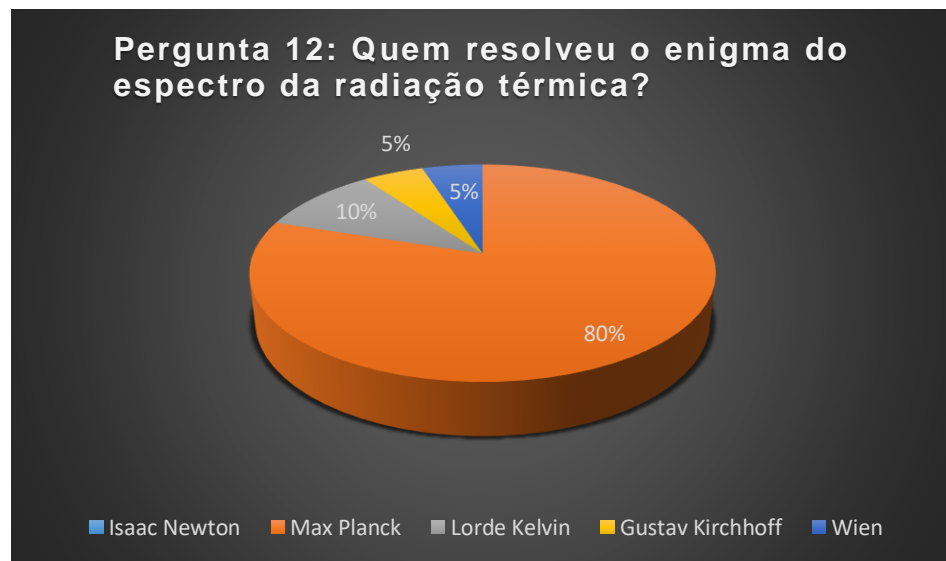
Gráfico 8: Resultados em porcentagem obtidos na pergunta 11 do Questionário II.



Fonte: O autor (2021)

O gráfico acima implica na compreensão das principais leis e equações que buscavam solucionar o enigma da equipartição da energia. Os discentes (90%) perceberam que as leis de Newton não estão relacionadas com tema. Esse assunto é abordado de forma dinâmica quando Physis fica preso no Labirinto de LaSalle. Os desafios e enigmas estão relacionados com as tentativas de solucionar o mistério da RCN.

Gráfico 9: Resultado em porcentagem obtidos na pergunta 12 do Questionário II.



Fonte: O autor (2021).

Quando se compara esses dados com o questionário do pré-teste/diagnóstico dos conhecimentos prévios dos discentes, percebe-se uma evolução significativa e extraordinária desses alunos sobre o tema. Veja a tabela a seguir:

Tabela 07: Contrastes e evoluções acadêmicas dos participantes em relação aos principais conceitos da radiação do corpo negro.

Situação pesquisada	Questionário I - Porcentagem de acertos	Questionário II - Porcentagem de acertos
Relatar o fato histórico sobre as duas nuvens do céu da física e o que cada uma gerou (Relatividade e Física Quântica)	0%	95%

Definir corpo negro	5%	90%
Dá exemplos (lâmpada fluorescente, corpo humano e sol) de corpo negro.	0%	75%
Conceituar catástrofe do ultravioleta e citar a lei relacionada (Rayleigh-Jeans)	0%	100%
Explicar e exemplificar os três tipos de principais de propagação de calor	15%	90%
Fazer considerações sobre radiação	10%	90%
Falar sobre o físico alemão que explicou a distribuição das intensidades de energia em função da frequência (ou comprimento de onda) e da temperatura (resolvendo o enigma do espectro da radiação térmica) e citar a lei	0%	80%

Fonte: Autor (2020)

A tabela 07 revela um quadro preciso e otimista do potencial da arte narrativa “O mundo mágico de Physis” para construção e produção de saberes e conhecimentos referentes a equipartição da energia. Nisso, faz-se necessário um contraste entre a física bem ensinada e a mal ensinada, discutida pelo professor Zanetic (Instituto de Física da USP) no texto Física e Cultura. Assim reza o autor: “[...] no geral a física é mal ensinada nas escolas.” (ZANETIC, 2005, p. 21)

Na questão 12 perguntou-se novamente: O que é radiação? E na sequência os discentes poderiam escolher uma das opções: () é a consolidação da concepção atômica; () é a técnica utilizada para distinguir os novos elementos da energia térmica; () é o espectro do átomo de hidrogênio; () é a propagação de energia através de partículas ou ondas; () é o espectro eletromagnético. Diante disso, a preferida dos educandos foi (90%) a definição de que radiação “é a propagação de energia através de partículas ou ondas”. Mas, 10% fizeram a escolha pelo conceito: “é a consolidação da concepção atômica.” Deste modo, um décimo dos participantes não entenderam a definição de radiação.

Ainda, destaca-se a questão 13, pois identificou a maior dificuldade dos alunos. Eles não conseguiram compreender que o único elemento determina o espectro da radiação é a temperatura. Dessa maneira, vale dizer que só 70% dos estudantes perceberam isso durante a leitura da história de Physis e a aula dialogada. Os demais, os 30% ficaram assim sobre pergunta: seu volume – 5%; sua condutividade térmica – 15%; sua massa – 0%; seu calor específico – 10%.

Em síntese, ao responderem as questões (1 a 13) do questionário II, os discentes foram provocados a construir conhecimentos sobre as cores da radiação, o modelo hipotético de corpo negro e sua definição, as leis relacionadas a equipartição da energia e os conceitos de radiação e catástrofe do ultravioleta.

Como mostra a tabela 07, antes e depois da aplicação da sequência didática, verifica-se na coluna 03 (três) que a porcentagem de acertos é satisfatória em relação a coluna 02 (dois). Com efeito, a arte narrativa é determinante para que o sujeito se encante pelo conhecimento, crie diálogo inteligente com a ciência e problematize saberes. “É a vivência de um ambiente escolar e cultural rico e estimulador, que possibilite o desabrochar da curiosidade epistemológica.” (ZANETIC, 2005, p. 21)

Portanto, a contação de história aplicada aos alunos do 3º ano do Ensino Médio produziu discussão, debate, leitura e atividade investigativa sobre o tema. O ato gerou e permitiu a construção de saberes na perspectiva do paradigma da complexidade. A prática foi relevante para o crescimento intelectual, emocional, cultural e social do aluno.

Segundo Morin (2003, 2011), o termo complexidade refere-se ao ato de trançar e enlaçar, que remete ao trabalho de construção de cestas. Dessa maneira,

o fazer pedagógico deve possibilitar a experientiação de atividades diversificadas, ricas, integrais (desenvolver os aspectos afetivo, cognitivo, físico, social e outros) e interdisciplinares.

Em suma, as conclusões elencadas até aqui, dialogam com o pensamento complexo e a utilização da contação de história como recurso didático, pois um como outro estabelece e proporciona uma prática educativa que visa motivar, transdisciplinar, integrar e contextualizar a atividade proposta. Deste modo, faz-se necessário abrir mão da “manutenção do pensamento mutilado, da inteligência cega, do cretinismo generalizado” presentes nas prática pedagógica de resistência às inovações do ambiente escolar. (MORIN, 2010, p. 34) Para tanto, destaca-se a importância do professor mediador, nesse processo de ensino e aprendizagem.

Na última questão, voltada para o espectro da radiação emitido por um corpo negro ideal, buscou-se saber qual é o elemento básico que determina sua emissão. Para esse questionamento ficou evidente a seguinte situação: 70% dos estudantes (acertaram a questão) compreenderam que a radiação depende basicamente da temperatura. Os demais confundiram os conceitos de temperatura e calor, ou seja, não conseguiram diferenciá-los. Assim, 30% dele, optaram equivocadamente pela alternativa que se referia ao calor.

Por conseguinte, ficou claro, de forma explícita, a necessidade de um trabalho pedagógico que desperte o aluno para o exercício científico. A história de Phebus se transformou em um laboratório de conceitos e experiências sobre radiação do corpo negro. O enredo, a linguagem jovial (gírias utilizadas por adolescentes e jovens) e a sensibilidade textual foram responsáveis pela conexão do aluno com o conhecimento a ser aprendido. Ferramentas com esse perfil podem enriquecer o processo de ensino e aprendizagem.

Enfim, “a educação deve promover a ‘inteligência geral’ apta a referir-se ao complexo, ao contexto, de modo multidimensional e dentro da concepção global”. (MORIN, 2011, p. 36) Com isto, a “[...] concepção de educação integral que deve orientar a organização da escola, o conjunto de atividades nela realizadas, bem como as políticas sociais que se relacionam com as práticas educacionais.” (BRASIL, 2010, p. 18).

6.1.5 Quinta etapa – Atividade Remota

A quarta etapa da aplicação do produto educacional foi planejado com o uso do Google formulário e o grupo Whatsapp “Physis”. Os educandos foram orientados a acessar o Questionário III postado no ambiente virtual da turma. As questões foram pensadas para calcular, mensurar e avaliar o rendimento do processo de ensino-aprendizagem da sequência didática. Por outro lado, vale dizer, que devido ao agravamento da pandemia do coronavírus em 2020 fez-se a opção de não aplicar presencialmente essa fase da pesquisa.

6.1.5.1 Questionário III

Ao responderem o questionário III, os estudantes opinaram sobre 7 (sete) questões que visavam avaliar a aplicação do produto educacional. Portanto, com esse último teste avaliativo, buscou-se ponderar, analisar e discutir os seguintes pontos:

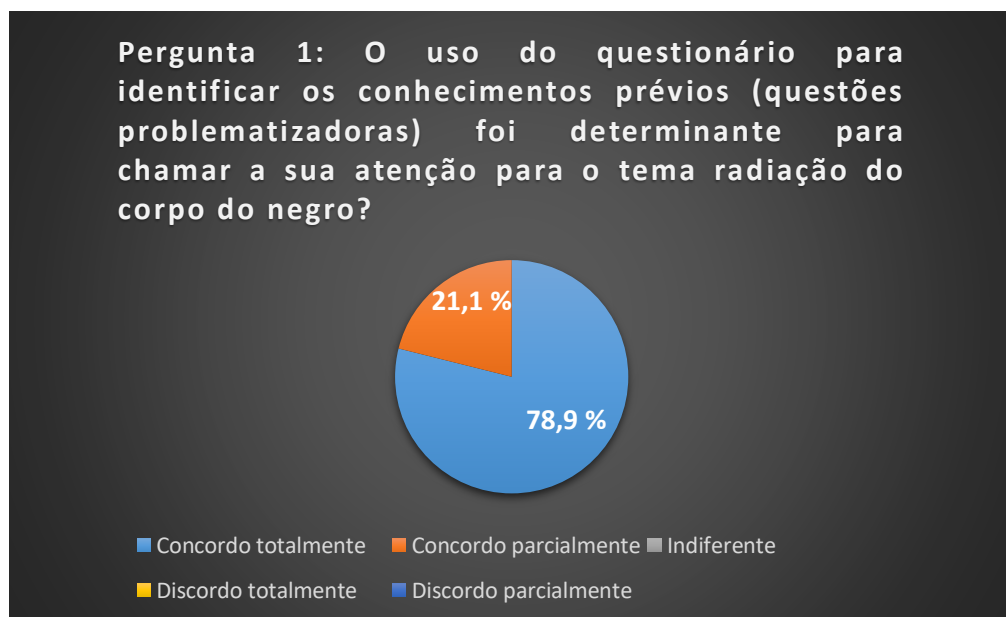
- Analisar se o uso do questionário para identificar os conhecimentos prévios (questões problematizadoras) foi determinante para chamar a atenção dos estudantes para o tema: radiação do corpo do negro.
- Conhecer o posicionamento avaliativo dos discentes no momento em que ocorreu a apresentação em slides e a aula dialogada sobre RCN (sobre as questões problematizadoras do Questionário I).
- Descrever se a leitura e a encenação (maquete, dramatização, flanelógrafo, etc.) da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” e a sua socialização (oral e encenada) tornaram as aulas de física mais produtivas, encantadoras e interessantes.
- Debater se as ilustrações e as figuras presentes na história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” facilitaram a compreensão do assunto.
- Identificar os momentos mais interessantes e significativos para aquisição de saberes.
- Saber se gostariam que outros assuntos do ensino de física fossem abordados com a utilização de contação de histórias/ arte narrativa.
- Refletir sobre os comentários e as percepções dos discentes a respeito da experiência vivenciada (oito aulas sobre contação de história e equipartição da energia).

Diante disso, diga-se de passagem, que os resultados e as discussões desses pontos ajudam o professor perceber a necessidade da práxis (ação-reflexão-ação) da sua própria prática pedagógica. E que os alunos podem contribuir com a transformação da escola. Assim, quando o educador reconhece e valoriza a opinião do educando, como princípio da funcionalidade e potencialidade escolar, as mudanças se iniciam no seio de cada aula.

Para tanto, conforme o gráfico 10, 78,9% dos estudantes concordam totalmente que a prática de identificação dos conhecimentos prévios (através de questões sobre o tema) foram determinantes para chamar atenção de cada um deles para o tema. Na questão dois, observou-se que 52,6% (gráfico 11) consideraram excelente e 42,1% sinalizaram como bom o momento da miniaula dialogada, que foi realizada através de uma apresentação em power point (preparada a partir da avaliação diagnóstica - Questionário I) e participação dos alunos.

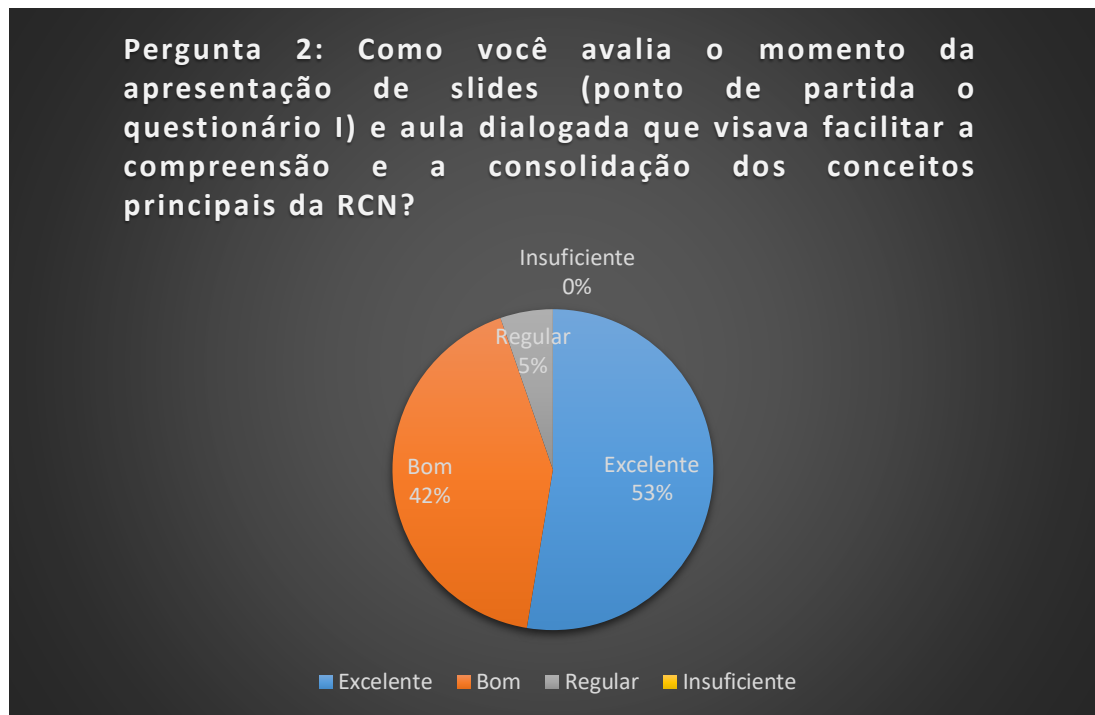
Veja os gráficos a seguir.

Gráfico 10: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 1 do Questionário III.



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 11: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 2 do Questionário III.



Fonte: Autor (2020)

Com efeito, como descreve o gráfico 10, é promissor para o ensino a interação de novos conhecimentos com os conhecimentos prévios (subsunçores). Pois, um dos fatores que mais influenciam na aprendizagem do aluno é o que ele já sabe. Portanto, é esse o ponto de partida para qualquer produção de conhecimento. (AUSEBEL, 1963)

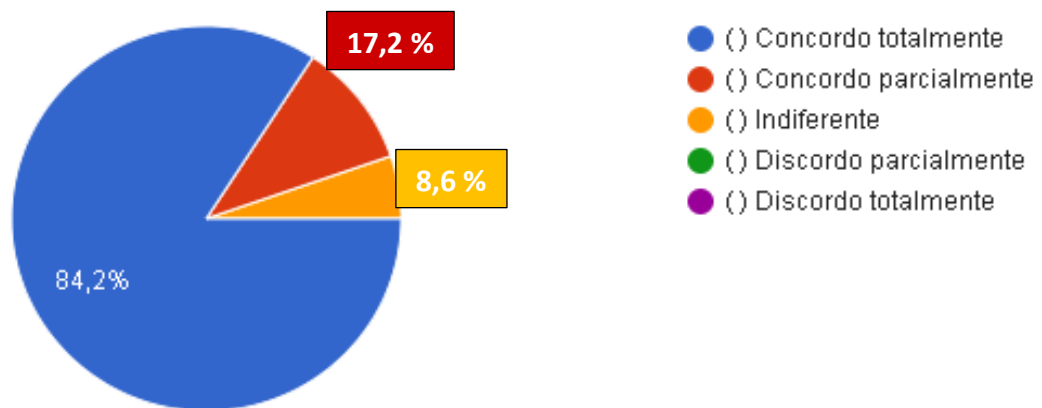
Por outro lado, conforme o gráfico 11, quando se soma, o excelente mais o bom, chega-se a porcentagem de 94,7% de educandos. Estes entenderam que uma aula dialogada a partir de questões problematizadoras, facilita e ajuda na compreensão dos principais conceitos abordados pelo professor. Neste caso, a porcentagem se refere a aplicação do produto educacional, ou seja, a aquisição e construção dos saberes relacionados a radiação do corpo negro. Ainda, o percentual citado anteriormente demonstra que esse momento foi significativo para motivação, participação e criação de “apetite” por conhecimento nos discentes.

Em suma, a aula expositiva e dialogada, também mobiliza as estruturas cognitivas e aflora os elementos sociais e emocionais dos indivíduos. Com isso, ressalta-se que foi importante, nessa etapa da pesquisa, ouvir os estudantes, identificar suas realidades e enumerar seus conhecimentos prévios. Enfim, a

estratégia permitiu a criação de um espaço de perguntas, respostas, questionamentos, críticas, problematização e solução de dúvidas. (ANASTASIOU e ALVES, 2006)

Quando os educandos foram questionados (pergunta 3) se a leitura, a encenação (uso de fantoche, teatro, flanelógrafo, maquete e dramatização) e a socialização (oral e encenada) da história (O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”) tornavam as aulas de física mais produtivas, encantadoras e interessantes. Obteve-se como resposta, 84,2% concordaram totalmente (veja o gráfico 12) de que ler, encenar e socializar são práticas importantes para o processo de ensino e aprendizagem. Deste modo, percebeu-se um grande interesse e aceitação da técnica pedagógica (Contação de história a partir de uma Sequência Didática) utilizada no processo de aprender a aprender. Foi palpável o interesse pela história e a curiosidade para saber o significado de corpo negro.

Gráfico 12: Resultado em porcentagem dos resultados da pergunta 3 (retornar ao parágrafo anterior) do Questionário III.

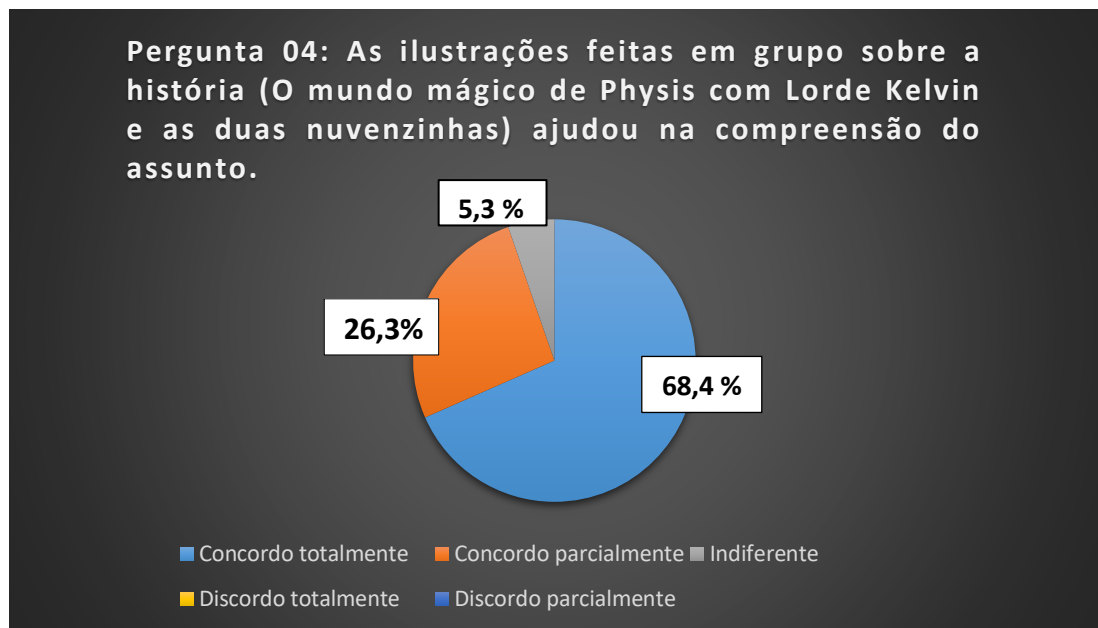


Fonte: Autor (2020).

A presente experiência, realizada com a técnica arte narrativa, evidenciou a integração dos aspectos cognitivos, sociais, culturais e emotivos nos discentes. Foi interessante observar também que a aprendizagem tornou-se significativa, motivadora, instigante e engajadora. Os alunos participaram da aula, ajudaram a organizar o cenário para apresentação final da história de Physis e expressavam brilho nos olhos (entusiasmo e alegria pela aprendizagem).

Na questão 4 (quatro), observou-se que 68,4% (gráfico 13) concordam totalmente e 26,3% concordam parcialmente sobre a importância das ilustrações no processo de ensino-aprendizagem. Deste modo, compreende-se que a contação de história, com uso de desenhos e figuras despertam a curiosidade nos discentes e cria 'sede' pelo o saber. Para os estudantes a prática aguça e estimula a sensibilidade intelectual (principalmente com a produção e a socialização das ilustrações) do sujeito.

Gráfico 13: Pergunta 4 (quatro) do questionário III.

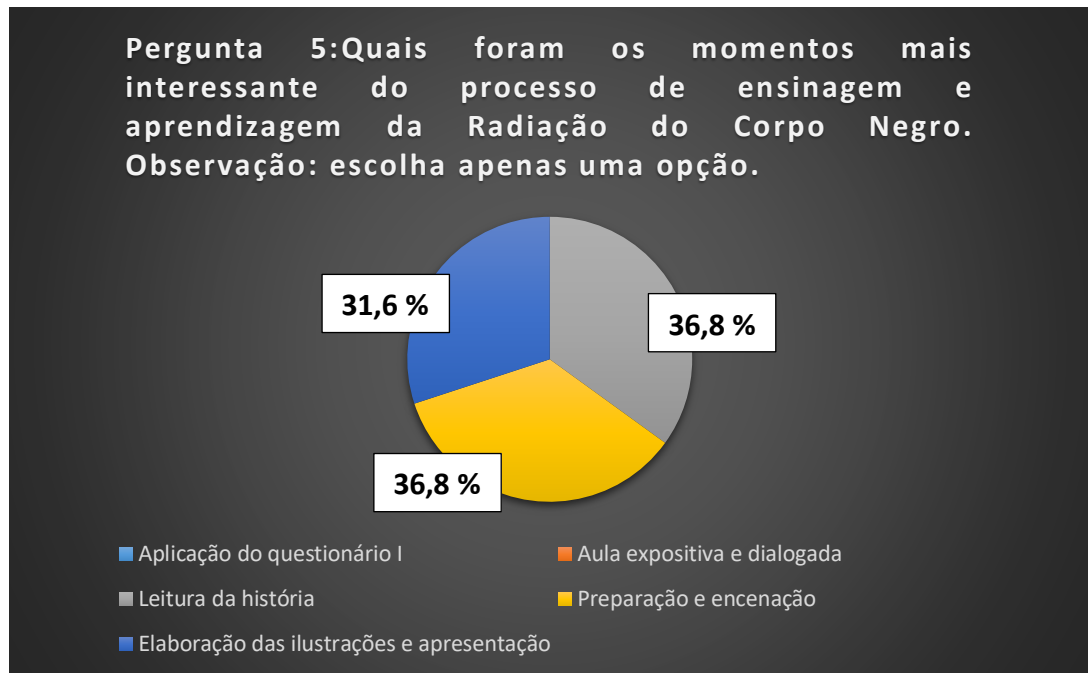


Fonte: Autor (2020).

Durante a prática um grupo ficou responsável pela apresentação de uma parte do enredo com uso de desenhos. Mas, todos foram provocados a usarem seus conhecimentos e imaginação para fazer ilustrações. Diante disso, foi notável ver como a atividade de desenhos e ilustrações despertaram e integraram os novos conhecimentos aos existentes na estrutura cognitiva dos discentes (momento de leitura, desenhos, encenações e aula dialogada). Isso ficou claro nos momentos em que os estudantes cooperavam com o processo, negociavam (faz isso, acrescenta aquilo, etc.) com o colegas e se envolviam mais na aprendizagem.

Veja o gráfico 14 da pergunta 5 (cinco).

Gráfico 14: Pergunta 5 (cinco) do questionário III.



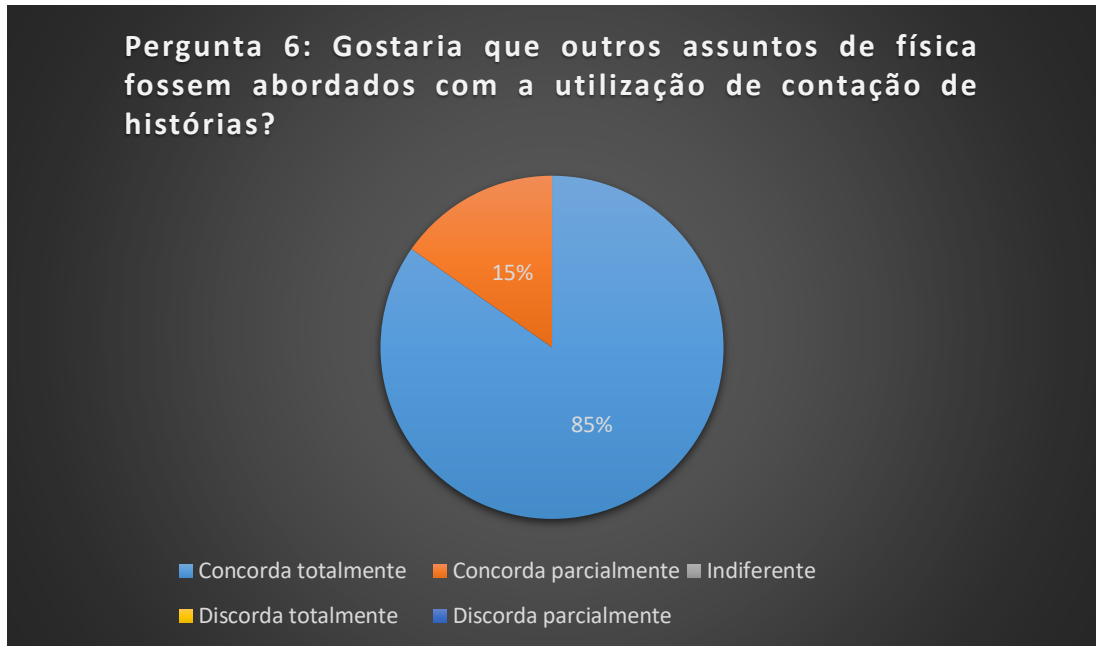
Fonte: Autor (2020).

Por conseguinte, notou-se também, com a pergunta 5 (cinco) um equilíbrio nas respostas sobre os momentos mais interessantes da aplicação do produto. Conforme o gráfico acima (identifica a atividade mais interessante da aplicação), percebeu-se que 36,8% escolheram a leitura da história “O mundo mágico de Physis”; 36,8% optaram pela preparação e encenação da história; e por fim, 31,6% ficaram com a opção - elaboração de ilustrações e apresentação.

É curioso o fato de que nenhum aluno tenha escolhido as opções: 1) aplicação do questionário para identificação dos conhecimento prévios; 2) leitura, discussão e apresentação do tema com o uso de slides. Isso demonstra que o lúdico, a arte narrativa, a dinamização do espaço escolar e a contextualização do ensino fazem diferença na aprendizagem e no sucesso escolar do estudante.

As narrativas possuem o potencial de explicar o mundo e a ciência com maior acessibilidade para o educando. As histórias são poderosas para vestir a vida do aluno com saberes. Elas despertam reflexões, espírito investigativo, curiosidade, alegria, tensão, ponto de vista e aprendizagem cooperativa (discussões, comentários e socializações de ideias). Desse modo, a seguir, no gráfico 15, os estudantes ilustram bem essa conclusão. Veja:

Gráfico 15: Pergunta 6 (seis) do questionário III.



Fonte: Autor (2020)

Dessa maneira, o gráfico acima evoca, na questão exposta, que 85% dos estudantes gostariam que outros assuntos de física fossem abordados com a utilização de contação de histórias. Os outros 15% disseram concordam parcialmente. Deste modo, ainda as duas posturas corroboram com a mesma ideia, mesmo que uma pequena parcela assumiu parcialmente. Assim, conclui-se que os educandos relacionaram o uso de arte de narrativa com a ação e a postura de práticas inovadoras, significativas e potencializadoras de aprendizagem.

A maioria dos alunos acreditam que a arte narrativa, como a história do Physis, proporcionam aulas bem interessantes, auxiliam no entendimento de conteúdo, promove o desejo natural por investigação, desperta a curiosidade, fornece um contexto lúdico e enche os estudantes de entusiasmo. Assim, a contação de história ajuda no desenvolvimento escolar e acadêmico, pois abre oportunidades motivadoras para pensar e refletir sobre as questões da alma e da ciência.

Por fim, na questão 7 (sete) os alunos deixaram seus comentários, avaliações e autoavaliações sobre o produto educacional, a sequência de aulas e a importância da narrativa “Mundo mágico de Physis”. Com isso, fez-se alguns recortes das falas dos participantes. No primeiro recorte, foi observado os seguintes aspectos, relacionados a avaliação e ponderação sobre produto educacional aplicado, conforme quatro alunos pesquisados:

“Ótimo livro. História superinteressante!”

“Achei bacana as gírias que aparecem na história do Physis. Foi bom. Agora sei o que é corpo negro. Quando ouvi o professor falar, veio na cabeça uma pessoa de pele escura ou objeto preto. Já mivú kkkkkk.”

“Pra mim, foi uma experiência nova e legal. Um jeito interessante de aprender, e pode facilitar o aprendizado de muitas pessoas.”

“Livro viciante no qual contém a leitura fácil, história cativante, um pouco descontraído e adicionado de um pouco de suspense. Projeto muito bacana. A culminância ficou linda. As apresentações a respeito do livro foram boas. Muito bom.”

Os comentários reforçam que a contação de história é significativa para o ensino de física. Portanto, pensar em atividades que envolvem o aluno e ajuda-o a ser protagonista proporciona experiências potencializadoras de aprendizagem. Ou seja, a arte narrativa melhora o ensino. Como disse um dos estudantes: *“um jeito interessante de aprender, e pode facilitar o aprendizado de muitas pessoas.”*

Por outro lado, adequar e ajustar os conteúdos a realidade da escola pode ser uma ponte de acesso para produção de saberes. Nesse contexto, relatam os educandos, sinteticamente: é importante contar uma história superinteressante (por exemplo, O mundo mágico de Physis), bacana e com linguagem do dia a dia (gírias), como também, realizar apresentações e encenações. Assim, pensar em experiências produtivas, significativas e motivadoras determinam o sucesso ou fracasso do educando.

Por conseguinte, apanhou-se os seguintes registros:

“A contação de história torna o aprendizado mais atrativo. Essa metodologia devia ser aplicada de forma constante no ambiente escolar.”

“Foi muito bom, o livro explica bem o assunto e ainda ajuda aprender.”

“Me identifico com a história. As aulas de física da escola são chatas e não aprendo nada. Também fui zuado na escola. O Physis é cada um de nós. Gostei dessa história empolgante e cheia de linguagem jovial. Foi bom o trabalho do professor José Leite e aprendi algumas coisas sobre um tema que nunca tinha ouvido falar.”

Diante disso, vale destacar que “a contação de história torna o aprendizado mais atrativo”, afirma discente sondado. Ou seja, como argumentou outro aluno, que a arte narrativa “[...] ajuda a aprender.” Além do reconhecimento pedagógico do material, os discentes foram tocados e sensibilizados pelas as lições e situações vivenciadas por Physis. Portanto, em toda aula o professor deveria falar e está atento das dimensões sociais, emocionais e intelectuais dos discentes. Com efeito, se faz isso, observando cada aspecto e dimensões de vida do personagem. A formação integral é essencial. (MORAN, 2003)

Para tanto, a discussão enriqueceu-se com os pensamentos de mais seis estudantes. Que disseram:

“Fiquei muito surpresa de ter aprendido tanta coisa sem o sofrimento de sempre! Gostei muito!!!”

“É assunto bastante interessante, apesar de ser um conteúdo de Física. Aprendemos muito mais relendo sua história e desenvolvendo projeto da história. Com isso temos mais facilidade em compreender o conteúdo estudado.”

“Muito boa a história, fascinante, muito divertido.”

“Excelente!”

“Ótimo livro, muito engraçado. Uma forma de aprender divertida, linguagem que chama atenção... Muito bom!”

“Projeto muito bom, me fez aprender assuntos complexos de forma mais tranquila.”

Uma boa aula é medida pelo sucesso e aprendizagem da turma. Segundo, um dos próprios educandos, a arte narrativa “[...] me fez aprender assuntos complexos de forma mais tranquila.” Outro aluno reforçou que “o uso de história facilitou compreender o conteúdo estudado.”

Dessa maneira, destaca-se que divulgar e planejar sequências didáticas com esse perfil podem contribuir para ampliação do sucesso escolar e aquisição de saberes. É preciso pensar e aplicar metodologias pedagógicas que torne mais fácil entender, especialmente, temas complexos da ciência.

Nesse contexto, mais quatro discentes ponderaram:

“A história foi bem legal, a melhor parte foi a harmonia entre o enredo e o conteúdo (corpo negro). Nunca tinha escutado nada

sobre o RNC, mas o conteúdo me ajudou a compreender cerca de 95% do que estudei. Seria uma ótima ideia a divulgação de mais conteúdos educacionais por meio de contação de histórias.”

“Excelente história, tornei os conceitos da Física muito mais fáceis de entender!!! Adorei.”

“Que história legal!!! Muito jovial e divertida!!! Adorei as expressões e o desenrolar da história!!! Já mivú!!!”

“A história de physis é bem interessante e ajuda para que tenha um aprendizado maior a respeito dos assuntos abordados, visto que física é uma matéria em que muitos alunos tenham dificuldade em aprendizado.”

Em suma, foi palpável a abordagem divertida e criativa utilizada para ensinar as cores da radiação, o espectro, o conceito de radiação e corpo, as leis e a física das radiações. Isso ficou evidente nos comentários abaixo.

“Foi muito legal. Nunca tinha visto a Física de forma tão divertida!”

“É uma história bem interessante. E quanto mais você ler, mais você quer saber o que vai acontecer na próxima página. E isso é bom, pois só nos faz querer aprender mais sobre um assunto abordado de forma diferente (de um modo bom). Com a história de Physis é possível aprender Física sem gostar de Física. Eu indico o livro, pois ele é realmente interessante e muito bom.”

Por fim, é sabido que a atividade com arte narrativa e o trabalho da sensibilidade, “[...] pode permitir ao aluno fazer relações entre conteúdos, relações entre ciência e questões sociais, como também proporcionar a coragem para se arriscar, descobrir e enunciar a sua crítica, expor sua forma diferente de pensar.” (OLIVEIRA E ZANETIC, 2004, P. 03) Assim, acredita-se que todo exercício didático (aula de física ou não) deve cativar a imaginação, despertar a curiosidade e desenvolver a inquietação do indivíduo. Pois, qualquer ferramenta ou estratégia de ensino que potencializa esses aspectos seduz a criança, o adolescente, o jovem e o adulto para a cultura acadêmica.

7 CONCLUSÃO

Com o uso da contação de história para ensinar RCN através de uma sequência didática, baseada na Teoria do Pensamento Complexo de Edgar Morin, percebeu-se a relevância de se tecer junto ao contexto, a cultura científica e a imaginação do educando. Porque, todo conhecimento e informação que é construído a partir de uma realidade significativa possibilita o educando a pensar a realidade e os saberes escolares em uma perspectiva de multidimensionalidade.

Os resultados discutidos e apresentados demonstraram que a história do Physis é um fator potencializador para ensinar radiação do corpo negro. O enredo faz o estudante viajar entre a ficção e a realidade, permitindo que os conhecimentos da equipartição da energia sejam construídos e consolidados. A medida que a história vai sendo ouvida, contada, apresentada e lida, nota-se um senso de alegria e contentamento no olhar dos estudantes.

Com isto, destaca-se que a técnica de ensino utilizada foi determinante para que os alunos descobrissem os principais conceitos e leis relacionados ao corpo negro. Portanto, ouvir e ler histórias são comportamentos que despertam e geram interesse nos estudantes em relação aos saberes acumulados pela humanidade.

Assim, os educandos demonstraram nas respostas do Questionário III, que repousa também na arte narrativa a possibilidade de tornar a vida escolar plena, radiante e atraente. A variação evolutiva e assimilativa de saberes diagnosticados pelo Questionário II permitem inferir que uma sequência didática bem planejada e associado a uma prática significativa determinam o sucesso do processo de escolarização dos estudantes.

Por conseguinte, os fatos dizem por si só: uma narrativa bem elaborada e contextualizada estimula o aluno a encarar a aventura pelo mundo da ciência e utilizá-la como laboratório de inteligência. Por lado, notou-se também, que a leitura, a narração e a criação da história de Physis ajudaram os discentes a delinear e experimentarem a vida cotidiana de forma positiva (abordou questões relacionadas as habilidades socioemocionais – autoestima, autoconhecimento, autonomia emocional, e autocuidado).

Em suma, a teoria da complexidade da inteligência e a arte narrativa deveriam compor a dinâmica pedagógica das escolas brasileiras. Deste modo, é essencial estimular a imaginação, a curiosidade e a reflexão dos docentes. Enfim, a contação

de história pode e dever ser usada como parteira do nascimento dos saberes complexos da física moderna.

8 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fernando e et al. **Manifestos dos pioneiros da Educação Nova (1932) e dos educadores 1959.** Fernando de Azevedo... [et al.]. – Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2010.

ANDRADE, Ana Paula. **Física Moderna.** (Física. Módulo 8. Volume 2. EaD-UAB/UESC). 1ª edição. - Ilhéus-BA: Impressão e acabamento JM Gráfica e Editora, Novembro de 2013.

AZEVEDO, Ana Cecilia Pedrosa de. **“Radioproteção em serviços de saúde.”** (FIOCRUZ/ Escola Nacional de Saúde Pública-CESTEH e Programa de Radioproteção e Dosimetria/ Coordenação de Fiscalização Sanitária/ Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro). Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material10.pdf>; Acesso em: 11 de julho de 2019.

ANHAS, FRANCISCA VILAS LAGES. **EMISSIVIDADE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.** (Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em construções). Porto-Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2018.

ANTUNES, Laura Catarina Seco. **Relatório de estágio: radiação do corpo negro.** (Obtenção de Grau de Mestrado em Física e Química/ Orientador Doutor Paulo Parada). Universidade da Beira Interior: Corvilhã, 2012.

ARAÚJO, M. P. M.; BRAVO, D. O. M.; RODRIGUES, G. A. S. **A contação de história como estratégia pedagógica: contribuição para a aprendizagem e desenvolvimento no ensino fundamental.** Revista Científica da Faculdade Cenecista de Vila Velha, n. 12, p. 73-86, jan./jun. 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16510047-A-contacao-de-historia-como-estrategia-pedagogica-contribuicao-para-a-aprendizagem-e-desenvolvimento-no-ensino-fundamental.html>; Acesso em: 17 de maio de 2021.

Ausubel, David. **The psychology of meaningful verbal learning.** New York: Grune & Stratton, 1963.

BERNARDES, Claudine; GAMA, Flávia. **Contos que curam.** – São Paulo, SP: Literare Books International, 2019.

BRANDÃO, C. **Repensando a pesquisa participativa.** São Paulo: Brasiliense, 1984.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica** / Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra E. B. **O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica.** Departamento de Física, Estatística e Matemática UNIJUÍ Ijuí RS; Cad. Bras. Ens. Fís., v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/1087/843>>; Acesso em: 17 de maio de 2021.

BISCUOLA, Gualter José; et al. **Física.** 1ª Edição - São Paulo: Saraiva, 2010.

BRANCO, Veronica. **Por um novo professor, capaz de transformar a escola.** Educação Integral / Centro de Referências em Educação Integral. 29/11/2014. Disponível em: <<https://outraspalavras.net/outrasmidias/por-um-novo-professor-capaz-de-transformar-a-escola/>>; Acesso em: 17 de maio de 2021.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica** / Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

_____, Ministério da educação e do Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais de Língua Portuguesa.** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro02.pdf>> Acesso em 21 de março de 2020.

_____, Ministério da educação e do Desporto. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**, 1999. Disponível em <http://www.mec.gov.br>; Acesso em 21 de março de 2020.

_____, Ministério da educação e do Desporto. **Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio**, 1999. Disponível em <http://www.mec.gov.br>; Acesso em 21 de março de 2020.

_____, Ministério da educação e do Desporto. PCN+ **Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Brasília: MEC/SEMTEC,2002.

_____, **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996.

_____, **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos**. Apresentação dos temas transversais-Brasília: MEC/SEF,1998. 436p

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**. 2ª reimpressão. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa Qualitativa em Ciências Humanas e Sociais**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

CALAZANS, J. (Org.). **Iniciação científica: construindo o pensamento crítico**. São Paulo: Cortez,2002.

CANIATO, R. **As linguagens da física mecânica**. São Paulo: Ática,1990.

COELHO, Betty. **Contar histórias uma arte sem idade**. 10ª Edição. São Paulo – SP: Editora ática, 2001.

DEWEY, John. **Democracia e Educação**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.

DINIZ, Júlio. Muitas vozes, muitas histórias. In: PRIETO, Benita. (Org.). **Contadores de Histórias: um exercício para muitas vozes**. Rio de Janeiro: s. ed., 2011, p. 44-46.

DOHME, Vania. **Atividades Lúdicas na Educação: o caminho de tijolos amarelos do aprendizado**. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2003.

EBOLI, T. **Uma experiência de educação integral: Centro Educacional Carneiro Ribeiro**. Rio de Janeiro: FGV: INL, 1971.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 22. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

EGAN, Kieran. **O uso da narrativa como técnica de ensino**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1994.

FREIRE, Paulo. **À sombra desta mangueira**. 2ª Edição - São Paulo: Editora Olho d'água, 1995.

GIL, Antonio Carlos. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GADOTTI, Moacir. **Pensamento Pedagógico Brasileiro**. São Paulo: Ática, 1988.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna.** 1ª Edição. São Paulo-SP: Ática, 2010.

_____, Alberto. **Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna.** (Volume 3). – 2. ed. – São Paulo: Ática, 2013.

GUIMARÃES, Paulo Sérgio. **Radiação do corpo negro.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, no. 2, Junho, 1999.

GURGEL, Ivã e WATANABE, Graciella. **A elaboração de narrativas em aulas de físicas: a aprendizagem em ciências como manifestação cultural.** -1ª Edição. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física** (Volume 4). 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOFFMANN, Jussara. **Avaliação, Mito & Desafio: Uma perspectiva construtivista.** Ed. Mediação; Porto Alegre, 2001.

JEWTT, John W.; SERWAY Raymond A. **Física para cientistas e engenheiros: luz óptica e física moderna.** Tradução da 8ª Edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

JORGE, L. S. “Roda de histórias: a criança e o prazer de ler, ouvir e contar histórias”. In: DIAS, Marina Célia Moraes M. & NICOLAU, Marieta Lúcia Machado (Orgs). **Oficinas de sonho e realidade na formação do educador da infância.** Campinas, SP: Papyrus, 2003

LIMA, Carlos. **Tópicos de Laboratório de Física Moderna.** Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>; Acesso em: 27 de agosto de 2020.

LOPES, J., & SILVA, H. S. **A aprendizagem cooperativa na sala de aula. Um guia prático para o professor.** Lisboa: Lidel, 2009.

MARTINI, Glorinha e et al. **Conexões com a Física: estudo do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios.** -3ª Edição. – São Paulo: Moderna, 2016.

MEIRIEU, Philippe. **A pedagogia entre o dizer e o fazer: a coragem de começar.** Porto Alegre: Artmed, 2002.

MELLO, Vera Lucia Martins de. **Aula 15: física das radiações.** (In: Instrumentação para o Ensino de Física IV). Disponível em: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/11360831032014Instrumentacao_para_o_Ensino_de_Fisica_IV_Aula_15.pdf; Acesso em: 20 de janeiro 2020.

MORAES, Fabiano. **Conta histórias: a arte de brincar com as palavras.** – Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

MORAES, Sérgio Oliveira; LIER, Quirijn de Jong Van. **Aula Prática: Radiação do Corpo Negro, Cor e Temperatura de Superfícies.** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ Departamento de Engenharia de Biosistemas. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce5702/Radiacao_corpo_negro_cor_temp_superficie.doc; Acesso em: 17 de maio de 2021.

MORIN, Edgar; LE MOIGNE, Jean-Louis. **A Inteligência da Complexidade.** São Paulo: Petrópolis, 2000.

_____, Edgar. **Saberes globais e saberes locais: o olhar transdisciplinar.** Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

_____, Edgar. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento.** 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

_____, Edgar. **Introdução ao Pensamento Complexo.** Porto Alegre: Editora Sulina, 2015.

_____, Edgar. **A escola mata a curiosidade.** Revista Nova Escola. Edição 168, outubro, 2006. Disponível em <http://revistaescola.abril.com.br/formacao/escola-mata-curiosidade425244.shtml>; Acesso em: 02 ago. 2015.

_____, Edgar. **CONFERÊNCIA - DIÁRIOS DE UM CAMINHANTE**, 2012, São Paulo. Anais eletrônicos Disponível em: <http://edgarmorin.sescsp.org.br>; Acesso em 21 de março de 2020.

_____, Edgar. **Complexidade e Liberdade.** (Nota – Este texto apareceu anteriormente na publicação de ensaios THOT). Associação Palas Athena, São Paulo (no. 67, 1998, pp. 12-19).

_____, Edgar. **Os Sete saberes necessários para a Educação do Futuro**. 8ª ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: Unesco, 2003.

_____, Edgar. **X da questão: o sujeito à flor da pele**. – Porto Alegre, RS: Artmed, 2003.

_____, Edgar. **Ensinar a viver: manifesto para mudar a educação**. – Porto Alegre: Sulina, 2015.

_____, Edgar. **Meus demônios**. – Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 1997.

MORIN, Edgar e MOIGNE, Jean-Louis. **A inteligência complexidade**. São Paulo, SP: Peirópolis, 2000.

MOSÉ, Viviane. **A escola e os desafios contemporâneos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2014.

NUNES, Daniel Sampaio. **Comunidades Investigativas no ensino de Física: uma abordagem interdisciplinar da radiação do corpo negro**. (Dissertação de Mestrado - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física/ Orientador Olavo Leopoldino da Silva Filho). Universidade de Brasília: Brasília, 2019.

OKUNO, Emico e et al. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1982.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A, 1997.

MAURÍCIO, Lúcia Veloso. **Educação integral e tempo integral**. Em Aberto, Brasília, v. 22, n. 80, p. 1-165, abr. 2009.

MELLON, Nancy. **A arte de contar histórias**. Rio de Janeiro, RJ: Rocco, 2006.

MOLL, Jaqueline. **Caminhos da Educação Integral no Brasil: direito a outros tempos e espaços educativos**. Porto Alegre: Penso, 2012. MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da Aprendizagem**. – São Paulo: EPU, 1999.

Popper, Karl R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora da UnB. 1980.

Oliveira, N.; Zanetic, J. **Física e narrativa**. In: Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, SBF, Jaboticatubas, 2004, p. 1-12. Disponível em: [Trabalhos em congressos - Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares \(usp.br\)](http://Trabalhos em congressos - Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares (usp.br)) Acesso: 12 de dezembro 2020.

PHETINTERACTIVESIMULATIONS. **Simulações Interativa sem Ciências e Matemática.** University of Colorado Boulder, 2002. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/>>; Acesso em: 12 de junho de 2019.

PRICE, J. M. **A pedagogia de Jesus: o mestre por excelência.** Tradução do Rev. Waldemar W. Wey. – 3ª edição, Rio de Janeiro – RJ: JUERP, 1980.

QUARTUCCIO, Jonathan Tejada. **O problema da radiação de corpo negro: da catástrofe do ultravioleta à teoria quântica.** Disponível em: <https://institutodepesquisascientificas.files.wordpress.com/2016/04/o-problema-da-radiac3a7c3a3o-de-corpo-negro.pdf>; Acesso em: 20 de agosto de 2020.

RAMOS, Ana Cláudia. **Contação de histórias: um caminho para a formação de leitores?** Disponível em: <https://www.academia.edu/35558569/ANA_CL%C3%81UDIA_RAMOS_CONTA%C3%87%C3%83O_DE_HIST%C3%93RIAS_UM_CAMINHO_PARA_A_FORMA%C3%87%C3%83O_DE_LEITORES_ORIENTADORA_PROFa._DRa._ELSA_MARIA_MENDES_PESSOA_PULLIN>; Acesso em: 17 de maio de 2021.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Um discurso sobre as Ciências na transição para uma ciência pós-moderna.** Revista estudos Avançados, s/d. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v2n2/v2n2a07.pdf>; Acesso em: 20 de julho de 2020.

SANTOS, Fábio e et all. **A contação de histórias: contribuição à neuroeducação.** Rio de Janeiro, RJ: Wak Editora, 2016.

SARAIVA, Maria de F. O.; FILHO, Kepler de S. O.; MÜLLER, Alexei M. **Aula 17: Espectroscopia.** Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula17-132.pdf>; Acesso em: 20 de julho de 2020.

SILVA, Ivone Ribeiro da. **A contação de história e sua contribuição para o processo de ensino e aprendizagem.** Disponível em <http://www.dfe.uem.br/TCC>; Acesso em 21 de março de 2020.

SILVA, Fernanda Aparecida Oliveira. SILVA, Fernanda Duarte Araújo. MENEZES, Nívia Ferreira da Silva. SILVA, Fernanda Duarte Araújo. **A contação de histórias no Ensino Fundamental: um olhar a partir do Estágio Supervisionado.** Revista Partes, São Paulo, 2018. p.1-7.

SANTHIAGO, Nayna da Silva. **Contribuições da contação de história no processo de ensino aprendizagem com foco no ciclo de alfabetização.** Pró-Discente: Caderno de Produção Acadêmico-Científica, Vitória-ES, v. 24, n. 1, p. 55-74, jan./jun. 2018.

SEIDEL, E. S. **O professor, a história e a criança: as aventuras e desventuras entre o Era uma vez e o Foram felizes para sempre.** Dissertação (Mestrado em Linguística). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89670/245025.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 agosto de 2019.

TAHAN, Malba. **A arte de ler e contar histórias.** 4ª Edição. - Rio de Janeiro, RJ: Conquista, 1964.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da Física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau.** (In: Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>; Acesso em: 9 de julho de 2020.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média.** Tese (Doutorado em Educação). Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros** (Volume 3). 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TORRES, S. M.; TETTAMANZY, A. L. L. **Contação de histórias: resgate da memória e estímulo à imaginação.** Revista eletrônica de crítica e teoria de literaturas, v. 04, n. 01, jan./jun. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/NauLiteraria/article/viewFile/5844/3448>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV - Ótica e Física Moderna.** 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

United Nations Environment Programme-UNEP. **Radiação: efeitos e fontes.** Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2016 (versão eletrônica). Disponível em: Acesso em: <http://www.aben.com.br/Arquivos/544/544.pdf>; Acesso em: 11 de julho 2019

ZANETIC, João. **Física e arte: uma ponte entre duas culturas**. Pro-Posições, v. 17, n. 1, jan./abr., p. 39-57. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro, 2006.

_____, João. **Física e cultura**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 57, n. 3, p. 21-4, 2005.

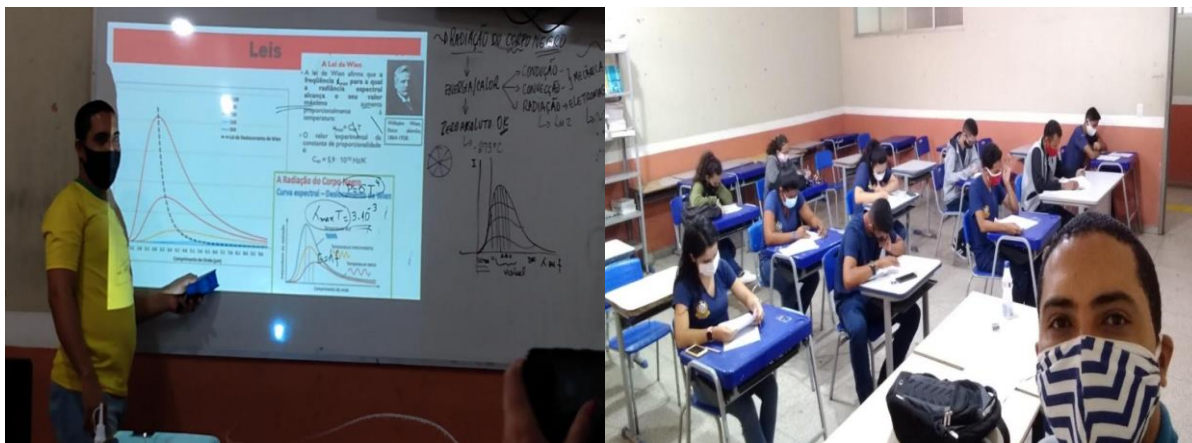
ANEXOS/ APÊNDICES

*Produto Educacional (PE) e a História “O mundo mágico Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”

Está disponível em um documento a parte da dissertação.

*Imagens da Finalização e Aplicação do PE





*Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O (a) estudante está sendo convidado (a) a participar de uma pesquisa. Por favor, leia este documento com bastante atenção antes de assiná-lo. Caso haja alguma palavra ou frase que você não consiga entender, converse com o pesquisador responsável pelo estudo ou com a direção da escola. A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para participar do mesmo.

O objetivo desta pesquisa é ***desenvolver um produto educacional sobre a radiação do corpo em uma sequência didática potencialmente sistêmica com o uso da arte narrativa para facilitar e estimular a aprendizagem sobre a introdução da física quântica no ensino médio*** e tem como justificativa ***a dinamização e a potencialização do processo de ensino-aprendizagem de física através da cotação de história nas turmas de 3º Ano do Ensino Médio***.

Se você aceitar participar da pesquisa, será necessário assinar o presente termo de consentimento livre e esclarecido. No nosso estudo, exigirá a sua participação em todos os encontros. Contudo, a pesquisa também pode trazer benefícios para o ensino física. O possível benefício resultante da participação na pesquisa são: a produção literária inédita da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” e a criação de uma sequência didática para aprender Radiação do Corpo Negro com o uso da arte narrativa.

Diante disso, vale informar que a participação na pesquisa não trará benefícios diretos aos participantes, porém, contribuirá para o aumento do conhecimento sobre o assunto estudado, e, se aplicável, poderá beneficiá-los em um futuro próximo (vestibular ou universidade). Sua participação na pesquisa é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória.

Caso decida não participar, ou ainda, desistir de participar e retirar seu consentimento durante a pesquisa, não haverá nenhum prejuízo ao atendimento que você recebe ou possa vir a receber na instituição escolar que você está matriculado. Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação na pesquisa e não haverá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos. Qualquer despesa gerado pela pesquisa serão pagas pesquisador.

Solicita-se também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de educação e publicar em revista científica nacional e/ou internacional. Por ocasião da publicação o nome será mantido em sigilo absoluto. Caso tenha dúvidas, poderá entrar em contato com o pesquisador responsável: José de Sousa Leite, (94) 99171-5447 e e-mail jlleite15@gmail. Esse Termo é assinado em duas vias, sendo uma do estudante e a outra para o pesquisador.

Portanto, Declaro Consentimento e Concordo em participar do estudo intitulado “A radiação do corpo negro em uma sequência didática potencialmente sistêmica com o uso da cotação de história”.

Nome do participante ou responsável

Data: ____/____/____

Eu, **José de Sousa Leite**, declaro cumprir as exigências contidas no Termo de Livre Consentimento e Esclarecido.

Assinatura pesquisador

Data: ____/____/____

*Questionário I - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DOS ESTUDANTES
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Nome: _____ Data: _____

Responda as questões com atenção.

1. Foi publicado um artigo em 1901, versão revisada de um discurso proferido no ano de 1900 por Lorde Kelvin, cujo o título é: "Nuvens do século dezenove sobre a teoria dinâmica do calor e da luz". A partir disso, responda: Que nuvens eram essas?

() Nunca ouvi falar sobre isso. () Vou responder.

RESPOSTA: _____

2. Sabemos que o calor é uma forma de energia. A sua propagação ocorre de forma espontânea, de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura. Assim, pode-se identificar três tipos de propagação de calor. Portanto, os processos de transferência de energia são:

- a) () Alfa, beta e gama.
- b) () Infravermelho, ultravioleta e luz branca.
- c) () Convecção, radiação e condução.
- d) () Ondas, radiação, emissão.
- e) () Irradiação, condutor e dielétrico.

3. No entendimento completo dos mecanismos de troca de calor é imprescindível reconhecer as situações e os processos de troca energia envolvido. Desta maneira, o único processo de troca de calor que pode ocorrer no vácuo é por:

- a) Convecção. b) Ultravioleta. c) Ondas mecânicas.
 d) Radiação. e) Magnetismo.

4. Qualquer corpo aquecido ou com temperatura acima do zero absoluto, emite energia. Então, explique a expressão corpo negro? Dê um exemplo.

5. Responda:

- a) Um corpo negro sempre aparenta ser negro? Sim Não
 b) O Sol é um corpo negro? Sim Não

6. Mencione uma lei que esteja relacionado com a solução do problema do corpo negro.

- Nunca ouvi falar sobre isso. Vou responder.

RESPOSTA:_____

7. Qual é a origem da catástrofe do ultravioleta?

- Nunca ouvi falar sobre isso. Vou responder.

RESPOSTA:_____

8. A Teoria Quântica revolucionou a Física do século XX, possibilitou uma nova construção científica e criou as condições necessárias para a realização de diversas rupturas na Filosofia da Ciência. Nesse contexto, destaca-se a pesquisa de físico alemão que explicou a distribuição das intensidades de energia em função da frequência (ou comprimento de onda) e da temperatura (resolvendo o enigma do espectro da radiação térmica). O feito foi realizado por:

- a) () Isaac Newton b) () Max Planck c) () Lorde Kelvin
d) () Gustav Kirchhoff e) () Wien

9. Os conceitos teóricos são fundamentais para compreensão de um determinado assunto. A radiação térmica, já discutida na termodinâmica, é ampliada quando o professor introduz o conceito de corpo negro. Entretanto, a ideia de radiação costuma ser muito mal compreendido. Diante disso, marque a opção que melhor define o conceito físico de radiação.

- a) () É a consolidação da concepção atômica.
b) () É a técnica utilizada para distinguir os novos elementos da energia térmica.
c) () É o espectro do átomo de hidrogênio.
d) () É a propagação de energia através de partículas ou ondas.
e) () É o espectro eletromagnético.

***Questionário II - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE A RADIAÇÃO EMITIDA POR UM CORPO NEGRO COM A UTILIZAÇÃO DA CONTAÇÃO DE HISTÓRIA**

Ao participar das atividades de leitura da contação de história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”, os momentos de socialização, as atividades dos desenhos ilustrativos e a encenação em grupo da história, responda as questões abaixo:

1 Responda as questões com atenção.

1.1. Sabemos que um corpo negro emite radiação térmica e as cores que conseguimos enxergar neles podem ser usados como um código para medir a sua temperatura. Dessa forma, a gradação de cores visíveis são:

- a) () vermelho-laranja-verde-azul
b) () marrom-preto-cinza-verde.
c) () verde-azul-vermelho-preto.

d) amarelo-violeta-vermelho-marrom.

e) vermelho-azul-verde-laranja.

1.2. Qual é a única propagação de calor que pode acontecer tanto num meio material quanto no vácuo? Marque a opção correta.

Convecção Condução Brisa Radiação térmica Éter

1.3. Complete as lacunas abaixo através das palavras da tabela, conforme os conceitos elencados no estudo da radiação do corpo negro.

lâmpada fluorescente	éter	corpo negro
catástrofe ultravioleta	corpo humano	Radiação de um corpo aquecido

a) O _____ e _____ são exemplos de corpos negros.

b) As "duas nuvens" (expressão da famosa palestra de 27 de abril de 1900, feita por Lorde Kelvin) estão relacionadas a teoria da luz e do calor e que descrevem o fracasso da tentativa de medir a velocidade da Terra por meio do _____ e a dificuldade de explicar a distribuição de energia na _____.

c) A comparação entre a curva experimental da intensidade de radiação do corpo negro em função da frequência e a curva teórica prevista pela expressão de Rayleigh-Jeans ficou conhecida como _____.

d) O _____ ideal absorve toda a energia radiante que nele incide.

1.4. Foi publicado um artigo em 1901, versão revisada de um discurso proferido no ano de 1900 por Lorde Kelvin, cujo o título é: "Nuvens do século dezenove sobre a teoria dinâmica do calor e da luz". A partir disso, responda: Que nuvens eram essas?

Nunca ouvi falar sobre isso.

Vou responder.

RESPOSTA: _____

1.5. Sabemos que o calor é uma forma de energia. A sua propagação ocorre de forma espontânea, de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura. Assim, pode-se identificar três tipos de propagação de calor. Portanto, os processos de transferência de energia são:

- a) () Alfa, beta e gama.
- b) () Infravermelho, ultravioleta e luz branca.
- c) () Convecção, radiação e condução.
- d) () Ondas, radiação, emissão.
- e) () Irradiação, condutor e dielétrico.

1.6. No entendimento completo dos mecanismos de troca de calor é imprescindível reconhecer as situações e os processos de troca energia envolvido. Desta maneira, o único processo de troca de calor que pode ocorrer no vácuo é por:

- a) () Convecção. b) () Ultravioleta. c) () Ondas mecânicas.
- d) () Radiação. e) () Magnetismo.

1.7. Qualquer corpo aquecido ou com temperatura acima do zero absoluto, emite energia. Então, o que são corpos negros? Dê um exemplo.

1.8. Mencione uma lei que esteja relacionado com a solução do problema do corpo negro.

- () Nunca ouvi falar sobre isso. () Vou responder.

RESPOSTA:_____

1.9. O que é catástrofe do ultravioleta?

- () Nunca ouvi falar sobre isso. () Vou responder.

RESPOSTA:_____

1.10. A Teoria Quântica revolucionou a Física do século XX, possibilitou uma nova construção científica e criou as condições necessárias para a realização de diversas rupturas na Filosofia da Ciência. Nesse contexto, destaca-se a pesquisa de físico alemão que explicou a distribuição das intensidades de energia em função da frequência (ou comprimento de onda) e da temperatura (resolvendo o enigma do espectro da radiação térmica). O feito foi realizado por:

- a) () Isaac Newton b) () Max Planck c) () Lorde Kelvin
d) () Gustav Kirchhoff e) () Wien

1.11. Os conceitos teóricos são fundamentais para compreensão de um determinado assunto. A radiação térmica, já discutida na termodinâmica, é ampliada quando o professor introduz o conceito de corpo negro. Entretanto, a ideia de radiação costuma ser muito mal compreendida. Diante disso, marque a opção que melhor define o conceito físico de radiação.

- a) () É a consolidação da concepção atômica.
b) () É a técnica utilizada para distinguir os novos elementos da energia térmica.
c) () É o espectro do átomo de hidrogênio.
d) () É a propagação de energia através de partículas ou ondas.
e) () É o espectro eletromagnético.

1.12. (UFRGS-RS) O espectro de radiação emitido por um corpo negro ideal depende basicamente de:

- a) () seu volume.
b) () sua condutividade térmica.
c) () sua massa.
d) () seu calor específico.
e) () sua temperatura.

*Questionário III - AVALIAÇÃO DA PROPOSTA UTILIZADA COM OS ESTUDANTES DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

1. O uso do questionário para identificar os conhecimentos prévios (questões problematizadoras) foi determinante para chamar a sua atenção para o tema radiação do corpo do negro.

Concordo totalmente

Concordo parcialmente

Indiferente

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

2. Como você avalia o momento em que o texto de apoio, a apresentação em slides e a aula dialogada sobre RCN facilitaram a sua compreensão dos conceitos instigados pelas questões problematizadoras.

Insuficiente

Regular

Bom

Excelente

2. A leitura e a encenação (fantoche, teatro, flanelógrafo, etc.) da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas” e a sua socialização (oral e encenada) tornaram as aulas de física mais produtivas, encantadoras e interessantes.

Concordo totalmente

Concordo parcialmente

Indiferente

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

3. As ilustrações feitas em grupo da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”, pelo fato de retratarem os principais conceitos ligados ao tema da Radiação do Corpo Negro, melhorou minha compreensão sobre assunto.

Concordo totalmente

Concordo parcialmente

Indiferente

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

4. Quais foram os momentos mais interessante do processo de ensinagem e aprendizagem da RCN. **Observação:** escolha apenas **duas opções**.

Questionário sobre os conhecimentos prévios

Leitura, discussão e apresentação em slides do texto de apoio

Leitura da história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”

Preparação e encenação da contação de história “O mundo mágico de Physis com Lorde Kelvin e as duas nuvenzinhas”

Elaboração das ilustrações e apresentação para os colegas (ambiente lúdico através da arte narrativa/ painéis)

5. Gostaria que outros assuntos de física fossem abordados com a utilização de contação de histórias.

Concordo totalmente

Concordo parcialmente

Indiferente

Discordo parcialmente

() Discordo totalmente

6. Escreva os pontos positivos e negativos destas 8 (seis) aulas sobre RCN:

Já mivú!