



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**BURACOS NEGROS – UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
EM FORMA DE UEPS PARA O ENSINO MÉDIO**

**Guilherme Henrique Schinzel**

BRASÍLIA – DF  
2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**BURACOS NEGROS – UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
EM FORMA DE UEPS PARA O ENSINO MÉDIO**

**Guilherme Henrique Schinzel**

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

Orientadora:  
Profa. Dra. Vanessa Carvalho de Andrade

BRASÍLIA – DF  
2021



## RELATÓRIO DE DEFESA DE PÓS-GRADUAÇÃO

## GRADUATE PROGRAM DEFENSE REPORT

## 1. INFORMAÇÕES DO CURSO/ PROGRAM DATA

MESTRADO/ MASTER'S (  )      DOUTORADO/ DOCTORAL (  )

Cotutela/ Cotutelle:

(  ) Não/ No(  ) Sim, instituição estrangeira/ Yes, partner institution:

## 2. IDENTIFICAÇÃO DO(A) ALUNO(A)/ STUDENT INFORMATION

Nome/ Name: Guilherme Henrique Schinzel

Matrícula/

Number: 18/0069993

Registration

Curso/ Program: Pós-Graduação em Ensino de Física

Área de Concentração/ Field  
of Study:

Código/ Code: 591

Departamento/ Department: IFD

## 3. SESSÃO DE DEFESA/ DEFENSE SESSION

(  ) Dissertação/ Master's Dissertation(  ) Tese/ Doctoral Thesis

Título/ Title: BURACOS NEGROS – UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA EM FORMA DE UEPS PARA O ENSINO MÉDIO

## 4. PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA/ CHAIR OF THE EXAMINING BOARD

Nome/ Name: Vanessa Carvalho de Andrade

Titulação/ Education Level: Doutora - Presidente

Unidade Acadêmica/ Academic Unity: IFD

## 5. COMISSÃO EXAMINADORA/ EXAMINING BOARD

Nome(Titulação)/ Name (Educational Level)

Função/Instituição -  
Role/InstitutionMembro por  
videoconferência (sim/não)

		Video-conference member (yes/no)
José Leonardo Ferreira	Membro Interno vinculado ao programa UnB	SIM
Ângela Cristina Cararo	Membro Externo não vinculado ao programa - PUCPR	SIM
Ronni Geraldo Gomes de Amorim	Membro Interno vinculado ao programa (Suplente) - UnB Faculdade do Gama	SIM

## 6. RESULTADO/ RESULT

A Comissão Examinadora, em **29/10/2021** após exame da Defesa e arguição do(a) candidato(a), decidiu / The Examining Board, on **29/10/2021**, after examining the Defense and inquiry of the candidate has decided to:

(  ) Pela aprovação do trabalho/ approve the work.

(  ) Pela aprovação do trabalho, com revisão de forma, indicando o prazo de até 30 dias para apresentação definitiva do trabalho revisado/ approve the work, pending formal review, assigning up to 30 days for the final delivery of the reviewed work.

(  ) Pela reformulação do trabalho, indicando o prazo de **XX** dias para nova versão/ request the reformulation of the work, assigning **XX** days for the new version.

(  ) Pela reprovação do trabalho/ not approve the work.

Este relatório não é conclusivo e não tem efeitos legais sem a homologação do Decanato de Pós-Graduação da Universidade de Brasília/ This reporte is not conclusive and has no legal effects prior to validation by the Dean of Graduate Programs of the University of Brasilia.

Em caso de revisão de forma, a homologação ficará condicionada à entrega definitiva do trabalho revisado à Coordenação do Programa, devendo este Relatório de Defesa ser acompanhado pelo Despacho do(a) coordenador(a) do programa ou do(a) orientador(a) do(a) discente que informará um dos seguintes resultados/ In case of formal review, the validation will be conditioned to the final delivery of the reviewed work to the Coordination of the Program or the student advisor. In such cases, this Defense Report must be supplemented with a notice by the coordinator with one of the following indications:

1. O (A) discente apresentou a revisão de forma e o trabalho foi aprovado/ The student presented the formal review and the work has been approved.
2. O (A) discente apresentou a revisão de forma e o trabalho foi reprovado/ The student presented the formal review and the work has not been approved.
3. O (A) discente não apresentou a revisão de forma/ The student did not present the formal review.

Declaro aceitação dos termos e condições que regem o acesso como usuário externo na Universidade de Brasília, conforme normas estabelecidas pela Universidade e demais normas aplicáveis, admitindo como válida a assinatura eletrônica por usuário e senha. É minha responsabilidade exclusiva o sigilo da senha de acesso ao sistema e o teor dos documentos e informações prestadas por mim. Comprometo-me a apresentar documentos originais inseridos por mim no sistema, que venham a ser solicitados pela Universidade de Brasília. Declaro estar ciente de que em caso de petições eletrônicas,

esses, somente poderão ser realizados entre 3 horas e 23 horas e 59 minutos e 59 segundos, horário de Brasília. Estou ciente de que o acompanhamento de solicitações poderá ser realizado no ambiente de usuário externo do SEI-UnB.

I hereby declare that I accept the terms and conditions established for access as an external user of the University of Brasilia, according to the rules set forth by the University and all other applicable rules. I also accept as valid the electronic signature by user and password. It is my sole responsibility the secrecy of the password for accessing the system and the content of the documents and information provided by me. I commit to present the original documents inserted into the system by me should they be requested by the University of Brasilia. I declare to be aware electronic demands can only be send between 3:00 and 23:59, Brasilia official time. I am aware I can track the status of requests via the External User environment of SEI-UnB.

### Informações/ Attention:

Documento deverá ser assinado por/ This document must be signed by:

- Presidente da Comissão Examinadora/ The Chair of the Examining Board
- Membros participantes da Comissão Examinadora/ Members of the Examining Board
- Coordenador(a) do Curso/ Coordinator of the Program
- Discente/ Student



Documento assinado eletronicamente por Vanessa Carvalho de Andrade, Vice-Diretor(a) do Instituto de Física, em 29/10/2021, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por Jose Leonardo Ferreira, Professor(a) de Magistério Superior do Instituto de Física, em 29/10/2021, às 19:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por Guilherme Henrique Schinzel, Usuário Externo, em 29/10/2021, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por Angela Cristina Cararo, Usuário Externo, em 29/10/2021, às 20:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por Marcello Ferreira, Coordenador(a) do Instituto de Física, em 29/10/2021, às 21:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.unb.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.unb.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 7329811 e o código CRC 97AA87AD.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SG956b Schinzel, Guilherme Henrique  
BURACOS NEGROS - UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA EM  
FORMA DE UEPS PARA O ENSINO MÉDIO / Guilherme Henrique  
Schinzel; orientador Vanessa Carvalho de Andrade. --  
Brasília, 2021.  
216 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Ensino  
de Física) -- Universidade de Brasília, 2021.

1. Buracos Negros. 2. Astronomia. 3. UEPS. 4.  
Aprendizagem Significativa. I. Carvalho de Andrade,  
Vanessa, orient. II. Título.

Dedico esta dissertação à minha amada esposa que sempre esteve do meu lado durante este árduo processo de escrita e estudo.

Dedico esta dissertação também aos meus pais Hécio Teixeira de Faria, Marilda Hannemann Schinzel e Paulo de Tarso Schinzel (In Memoriam).

Aos avós, obrigado pelos ensinamentos, mesmo que por um período breve de tempo, vocês sempre foram presentes!

## **Agradecimentos**

Agradeço de todo o meu coração a todos que de alguma maneira contribuíram para que esta dissertação fosse concluída. Agradecimentos especiais aos professores orientadores, aos professores do MNPEF e servidores.

Aos amigos Alex Sander Teixeira, José Cordeiro Neto e Clenilson Cortêz, muito obrigado pela parceria ao longo desse metrado pois sabemos que essa caminhada foi difícil e, provavelmente, sem a ajuda de vocês eu teria desistido.

Aos meus professores do Ensino Médio Fábio Oliveira, Fábio Bordignon e Ivo Marcos. MUITO OBRIGADO! Vocês fizeram parte dessa caminhada nos primórdios e sem o apoio de vocês eu não teria conseguido.

Aos professores da PUCPR, em especial as professoras Dra. Neuza Bertoni Pinto e Nara Becker Ploharski da área de educação e a professora Angela Cararo do curso de Licenciatura em Física.

A minha digníssima esposa Amanda Schinzel, pela paciência e revisão dos textos.

E a CAPES.

## **RESUMO**

### **BURACOS NEGROS – UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

Guilherme Henrique Schinzel

Orientadora:

Profa. Dra. Vanessa Carvalho de Andrade.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

A presente dissertação descreve o processo de aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) – Moreira (2011a). Durante o período de aplicação desta sequência didática, buscamos investigar se existem indicadores de Aprendizagem Significativa quando tratamos do assunto Buracos Negros. No transcorrer do período de construção desta dissertação, foram possíveis duas aplicações: uma para uma turma de Ensino Médio na Escola CED 16 da rede pública de ensino na cidade de Brasília-DF e, devido à troca de orientação e ao cenário pandêmico mundial no ano de 2020, fez-se necessária uma nova aplicação (com adaptações) e de maneira remota para estudantes do 6º ano do Ensino Fundamental ao 3º ano do Ensino Médio no Colégio Estadual Delfínio Olécio Machado (CEDOM), localizado na cidade de Luziânia – GO. Fundamentando-se nos conceitos da Aprendizagem Significativa de Ausubel, tivemos uma organização hierárquica das atividades a fim de verificar e validar os dados coletados. Todas as atividades tiveram um caráter que visava potencializar e propiciar aos estudantes um desenvolvimento do conhecimento através de sondagens realizadas nos encontros iniciais e finais e durante uma investigação através de questionamentos potencialmente significativos para que obtivéssemos êxito na aplicação desta sequência didática.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa; Ensino de Astronomia; Estrelas; Buracos Negros; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

Brasília - UnB

Setembro, 2021

## **ABSTRACT**

Black Holes – A Teaching Learning Sequence for high school students.

Guilherme Henrique Schinzel

Orientadora:

Profa. Dra. Vanessa Carvalho de Andrade.

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The present work describes the process of application of a Potentially Significant Teaching Unit (PSTU) – Moreira (2011a). During the period of the application of this didactic sequence we aimed to investigate if there are indicators of significant learning when we discuss about black holes. During the time of this work's construction we could receive information from two distinct schools. One from a public high school in Brasília-DF and the second, due to the pandemic's world scenario we did another study (with modifications), for students from 6<sup>th</sup> grade until the senior high school at State School Delfício Olcécio Machado (CEDOM) located in Luziânia-GO. We established this research on the concepts of significative learning from Ausubel and we had an hierarchical organization of the activities to verify and validate the collected data. All the activities aimed to potentialize and help the students to develop knowledge through potentially significant questioning trying to succeed during this didactic sequence.

**Keywords:** Significant Learning, Astronomy Teaching, Stars, Black Holes, Potentially Significant Teaching Unit.

Brasília - UnB

September, 2021

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Uma visão esquemática do contínuo de aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica, sugerindo que na prática grande parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária desse contínuo e que um ensino potencialmente significativo pode facilitar "a caminhada do aluno nessa zona cinza".....	18
<b>Figura 2</b> - Relação entre as produções e os aprendizados .....	19
<b>Figura 3</b> - A função do organizador prévio .....	24
<b>Figura 4</b> - Tipos de aprendizagem significativa .....	25
<b>Figura 5</b> - Representação Gráfica da Teoria da Assimilação de Ausubel proposta por Moreira .....	27
<b>Figura 6</b> - Representação gráfica da assimilação dissociável.....	27
<b>Figura 7</b> - Representação gráfica da aprendizagem subordinada .....	28
<b>Figura 8</b> - Representação gráfica da aprendizagem superordenada .....	29
<b>Figura 9</b> - Relação de Ideias .....	29
<b>Figura 10</b> - Representação gráfica da diferenciação progressiva e reconciliação integradora.....	31
<b>Figura 11</b> - A foto do Buraco Negro .....	38
<b>Figura 12</b> - Diagrama Hertzsprung-Russel.....	41
<b>Figura 13</b> - Luminosidade e brilho aparente.....	42
<b>Figura 14</b> - Diagrama H-R Simplificado .....	44
<b>Figura 15</b> - Relação Luminosidade-Raio no Diagrama H-R.....	45
<b>Figura 16</b> - Esquema simplificado da formação dos Buracos Negros.....	49
<b>Figura 17</b> - Representação simplificada de um sistema binário .....	50
<b>Figura 18</b> - Representação de um Buraco Negro engolindo uma estrela. ....	51
<b>Figura 19</b> - Regiões de um Buraco Negro.....	52
<b>Figura 20</b> - A separação dos horizontes de eventos. ....	57
<b>Figura 21</b> - Exemplo de resposta caracterizada como fuga do tema. ....	79
<b>Figura 22</b> - Exemplo de resposta incoerente. ....	79
<b>Figura 23</b> - Exemplo de resposta coerente. ....	80
<b>Figura 24</b> - Exemplo de resposta adequada.....	80
<b>Figura 25</b> - Representação gráfica de um estudante do 6º ano.....	106
<b>Figura 26</b> - Representação gráfica de um estudante do 7º ano.....	111
<b>Figura 27</b> - Representação gráfica de um estudante do 8º ano.....	114
<b>Figura 28</b> - Representação gráfica de um estudante do 9º ano.....	117
<b>Figura 29</b> - Representação gráfica de um estudante do 1º ano do E.M.....	121
<b>Figura 30</b> - Representação gráfica de um estudante do 2º ano do E.M.....	125

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1</b> - dados da sondagem inicial na turma A .....	88
<b>Gráfico 2</b> - Dados da sondagem inicial da turma B.....	88
<b>Gráfico 3</b> - dados da sondagem inicial das duas turmas.....	89
<b>Gráfico 4</b> - Dados da sondagem final da turma A .....	89
<b>Gráfico 5</b> - Dados da sondagem final da Turma B.....	90
<b>Gráfico 6</b> - Dados da sondagem final das turmas A e B.....	90
<b>Gráfico 7</b> - Análise das respostas satisfatórias das turmas A e B.....	91
<b>Gráfico 8</b> - Número de respondentes aptos a participar da UEPS.....	97
<b>Gráfico 9</b> - Tabulação das respostas da primeira questão.....	98
<b>Gráfico 10</b> - Tabulação das respostas da segunda questão.....	98
<b>Gráfico 11</b> - Tabulação das respostas da terceira questão.....	99
<b>Gráfico 12</b> - Tabulação das respostas da quarta questão.....	100
<b>Gráfico 13</b> - Tabulação das respostas da quinta questão.....	100
<b>Gráfico 14</b> - Tabulação das respostas da sexta questão.....	101
<b>Gráfico 15</b> - Tabulação das respostas da sétima questão.....	102
<b>Gráfico 16</b> - Tabulação das respostas da oitava questão.....	102
<b>Gráfico 17</b> - Resultados das questões 4 e 5 para os sextos anos.....	104
<b>Gráfico 18</b> - Resultados da Sondagem Inicial do 6° ano.....	104
<b>Gráfico 19</b> - Resultados da Sondagem Final do 6° ano.....	105
<b>Gráfico 20</b> - Comparação quantitativa dos resultados das Sondagens – 6° ano.....	107
<b>Gráfico 21</b> - Respostas dos sétimos anos as questões 4 e 5 da sondagem inicial.....	108
<b>Gráfico 22</b> - Representação gráfica da sondagem inicial do 7° ano.....	109
<b>Gráfico 23</b> - Representação gráfica da sondagem final do 7° ano.....	109
<b>Gráfico 24</b> - Comparação quantitativa das sondagens - 7°s anos.....	112
<b>Gráfico 25</b> - Respostas dos estudantes do 8° ano as questões 4 e 5.....	112
<b>Gráfico 26</b> - Tabulação das respostas da sondagem inicial do 8° ano.....	113
<b>Gráfico 27</b> - Resultados da sondagem final dos 8° anos.....	113
<b>Gráfico 28</b> - Comparação quantitativa das sondagens do 8° ano.....	115
<b>Gráfico 29</b> - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5.....	116
<b>Gráfico 30</b> - Resultados da sondagem inicial do 9° ano.....	116
<b>Gráfico 31</b> - Resultados da sondagem final do 9° ano.....	117
<b>Gráfico 32</b> - Comparação quantitativa das sondagens – 9° ano.....	118
<b>Gráfico 33</b> - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5 – 1°ano do Ensino Médio...	119
<b>Gráfico 34</b> - Resultados da sondagem inicial do 1° Ano do E.M.....	119
<b>Gráfico 35</b> - Resultados da sondagem final do 1° ano do E.M.....	120
<b>Gráfico 36</b> - Comparação quantitativa das sondagens – 1° Ano E.M.....	122
<b>Gráfico 37</b> - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5 – 2° ano E.M.....	122
<b>Gráfico 38</b> - Resultados da sondagem inicial – 2° Ano E.M.....	123
<b>Gráfico 39</b> - Resultados da sondagem final do 2° ano do E.M.....	124

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> – A organização da dissertação.....	7
<b>Tabela 2</b> - Relação entre marcações, temperatura e luminosidade.....	44
<b>Tabela 3</b> - Relação entre tipos espectrais e outras características estelares.....	46
<b>Tabela 4</b> - Comparação de acordo com a classificação das estrelas com elementos químicos.....	47
<b>Tabela 5</b> - Características das anãs brancas.....	47
<b>Tabela 6</b> - Características das gigantes vermelhas.....	48
<b>Tabela 7</b> - Características das estrelas supergigantes.....	48
<b>Tabela 8</b> - Recursos e justificativa para a construção do produto educacional.....	66
<b>Tabela 9</b> - A reconstrução do produto para a aplicação no cenário pandêmico.....	70
<b>Tabela 10</b> - Tabulação das respostas dos estudantes da primeira aplicação turma A....	82
<b>Tabela 11</b> - Tabulação das respostas da sondagem inicial da turma B.....	83
<b>Tabela 12</b> - Tabulação das respostas da sondagem final turma A.....	85
<b>Tabela 13</b> - Tabulação das respostas da sondagem final da turma B.....	85
<b>Tabela 14</b> - Tabulação dos dados da sondagem inicial da turma A;.....	86
<b>Tabela 15</b> - Tabulação dos dados da sondagem inicial da turma B;.....	86
<b>Tabela 16</b> – Tabulação dos dados da sondagem inicial das duas turmas;.....	86
<b>Tabela 17</b> - Tabulação dos dados da sondagem final da turma A;.....	87
<b>Tabela 18</b> - Tabulação dos dados da sondagem final da turma B.....	87
<b>Tabela 19</b> - Tabulação dos dados da sondagem final das duas turmas.....	87
<b>Tabela 20</b> - Tabulação das respostas do 6º ano – Sondagem Inicial.....	104
<b>Tabela 21</b> - Resultado da tabulação da produção do 6º ano – Sondagem final.....	105
<b>Tabela 22</b> - Tabulação dos resultados da sondagem inicial 7º ano.....	108
<b>Tabela 23</b> - Tabulação dos resultados da sondagem final 7º ano.....	109
<b>Tabela 24</b> - Tabulação da sondagem inicial do 8º ano.....	112
<b>Tabela 25</b> - Tabulação das respostas da sondagem final – 8º ano.....	113
<b>Tabela 26</b> - Tabulação da sondagem inicial 9º ano.....	116
<b>Tabela 27</b> - Tabulação sondagem final 9º ano.....	116
<b>Tabela 28</b> - Tabulação da sondagem inicial 9º ano.....	119
<b>Tabela 29</b> - Tabulação sondagem final 1º ano.....	119
<b>Tabela 30</b> - Tabulação sondagem inicial 2º ano.....	122
<b>Tabela 31</b> - Tabulação sondagem final – 2º Ano E.M.....	123

# Sumário

INTRODUÇÃO.....	1
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
1.1 Revisão de trabalhos anteriores.....	10
1.2 Referências utilizadas na construção desta dissertação .....	11
1.3 Documentos oficiais e norteadores da educação distrital e federal .....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1.1 16	
2.1.2 Aprendizagem Mecânica.....	17
2.1.3 Subsunçores.....	20
2.1.4 Condições para a Aprendizagem Significativa .....	21
2.1.5 Organizadores Prévios .....	23
2.1.7.1 A aprendizagem subordinada.....	28
2.1.7.2 A aprendizagem superordenada .....	28
2.1.7.3 A aprendizagem combinatória .....	29
2.1.8 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora.....	30
2.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS.....	32
3. BURACOS NEGROS .....	33
3.1 Histórico.....	33
3.2 Requisitos.....	39
3.2.1 Formação das estrelas .....	39
3.3 Classificação das Estrelas .....	40
3.3.1 O diagrama de Herzprung-Russel.....	40
3.5 A observação dos Buracos Negros.....	50
3.6 A estrutura de um Buraco Negro. ....	52
3.7 Classificação dos Buracos Negros. ....	54
4 CRIAÇÃO DO PRODUTO.....	58
4.1 Problemas no Ensino de Astronomia. ....	58
4.2 As conexões entre o produto educacional, em sua primeira aplicação, com o referencial teórico. ....	61
4.4 A necessidade da segunda aplicação e a reestruturação do produto de acordo com o cenário pandêmico mundial no ano de 2020. ....	66
5 METODOLOGIA.....	70
5.1 Metodologia de pesquisa e aplicação.....	70
5.2 Contextualização da primeira aplicação. ....	71
5.3 Descrição da primeira aplicação do produto em forma de UEPS.....	72

6. ANÁLISES E RESULTADOS .....	78
6.1 Análises e resultados da primeira aplicação. ....	78
6.2 Dados da primeira aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.....	80
6.3 Análise e avaliação da primeira aplicação da UEPS (Presencial) .....	91
6.4 Contexto da segunda aplicação da UEPS (Virtual) .....	95
6.5 Análise e avaliação da segunda aplicação da UEPS (Virtual).....	96
6.5.1 Produção e avaliação dos sextos anos.....	103
6.5.2 Produção e avaliação dos sétimos anos.....	108
6.5.3 Produção e avaliação dos oitavos anos .....	112
6.5.4 Produção e avaliação dos nonos anos .....	115
6.5.5 Produção e avaliação dos primeiros anos.....	118
6.5.6 Produção e avaliação de avaliação dos segundos anos .....	122
6.5.7 Produção e avaliação dos terceiros anos .....	126
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	127
REFERÊNCIAS .....	130
APÊNDICE A – Slides utilizados na Sequência Didática .....	134
APÊNDICE B – SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICAÇÃO PRESENCIAL.....	145
145	
Apresentação do projeto .....	146
Prezados professores .....	146
Objetivo Principal .....	146
Objetivos Secundários.....	146
Apresentação do projeto .....	175
Prezados professores .....	175
Objetivo Principal .....	175
Objetivos Secundários.....	175
A SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	177

## INTRODUÇÃO

No cotidiano dos professores de física, é muito comum alguns alunos perguntarem sobre os mais diversos temas da área e, dentre eles, está a astronomia. Sabemos também que muitas vezes o próprio docente não foi devidamente preparado para responder aos estudantes perguntas sobre este tema, ou seja, podemos prever que em diversas situações, o assunto “astronomia” é tratado de maneira superficial e, até mesmo em alguns casos, nem é abordado em sala de aula. Parafraseando o professor Walter Lewin, quando ministrou sua última aula em dezembro de 2009 no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em sua famosa frase “Professores que fazem a física parecer chata deveriam ser considerados criminosos.”. A astronomia é um tema fabuloso e extremamente interessante, pois, após sondagens feitas em sala de aula, mais de 90% dos estudantes afirmaram que possuem interesse nesta área, porém, nunca tiveram a real oportunidade de estudá-la de maneira apropriada. A importância e magnitude do estudo da astronomia existe há muito tempo. Segundo Oliveira Filho e Saraiva em sua obra *Astronomia e Astrofísica* publicada no ano de 2004.

“O estudo de astronomia tem fascinado as pessoas desde os tempos mais remotos... Depois que o sol – Nossa fonte de vida – se põe, as belezas do céu noturno surgem em todo o seu esplendor. A lua se torna o objeto celeste mais importante, continuamente mudando de fase. As estrelas aparecem como miríade de pontos brilhantes entre as quais planetas se destacam por seu brilho e movimento. E a curiosidade para saber o que há além do que podemos enxergar é inevitável.” (O. Filho, Saraiva, 2004, p. 13).

A curiosidade sobre o cosmos é inerente ao ser humano, ou seja, temos uma tendência natural de realizar questionamentos (algumas pessoas questionam mais e outras questionam menos) e esse detalhe é importante, pois os mais questionadores normalmente não ficam satisfeitos mesmo sabendo que existe um grande número de meios de comunicação disponíveis para a divulgação científica. Por outro lado, é preocupante perceber que ainda temos uma significativa parte da população que não conhece e/ou possui pouquíssimo conhecimento sobre a astronomia.

Devemos ressaltar também que os conceitos de astronomia, cosmologia e astrofísica são diferentes e é fundamental levantar essa questão para que o aprendizado seja conduzido de maneira correta. Para desenvolver esse trabalho de aprendizagem, faz-se necessário construir uma base sólida sobre os conceitos que são mostrados para

os alunos e escolhemos nos aproximar ao máximo do conceito da Aprendizagem Significativa apresentado pelo pensador David Ausubel na década de 60. O autor afirma que o aprendizado significativo é a ampliação e a reconfiguração das ideias

Uma estratégia de ensino que ajudará a despertar o interesse nos alunos é, por exemplo, assistir o episódio sobre Buracos Negros da série “O Universo” do *The History Channel*, e em seguida discutir através de uma mesa redonda para verificar o quanto os estudantes sabem sobre o tema que será abordado nesta dissertação. Este passo é fundamental para que o professor consiga verificar as estratégias mais viáveis para as turmas em questão, pois sabemos que a heterogeneidade das escolas precisa ser respeitada para que possamos verificar os indícios de aprendizagem significativa.

O uso do vídeo tem intenção de ajudar, juntamente com o produto educacional, a construir uma Sequência Didática em forma de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira, em que se busca desenvolver a aprendizagem significativa utilizando um material de ensino potencialmente significativo através de um recurso que há não muito tempo era considerado inovador, porém, atualmente teve seu prestígio reduzido devido ao seu mau uso em contextos específicos e não planejados adequadamente em sala de aula. Então vale a pena resguardar essa ferramenta de ensino para melhorar o aprendizado dos alunos e para que seja possível percebermos evidências da aprendizagem significativa.

Ao analisar os fatores que implicam nas situações acima descritas, relacionadas a metodologias e perfil dos estudantes, devemos aproximar ao máximo este trabalho da realidade em que ele está inserido. Segundo dados da SEDF (Secretaria de Educação do Distrito Federal), a rede conta com um número de 792 escolas, as quais 601 são urbanas, 79 são rurais, 54 centros de ensino de primeira infância e 60 unidades conveniadas distribuídas em todas as 14 regionais de ensino do DF. Logo, o número estimado de alunos chega a 450 mil divididos em 17 mil turmas contando com 26 mil professores ativos e 340 mil horas de professores em regime de contrato temporário para suprir as carências específicas de cada escola.

O perfil para que um professor trabalhe para a SEDF é de que ele possua graduação, mais especificamente licenciatura (excetuando alguns casos específicos como as matrículas mais antigas, às quais apenas o magistério era suficiente para lecionar nos anos iniciais e de cargos relacionados em escolas que possuam vagas para ensino técnico) na área em que atua, segundo o último edital de concurso público

publicado em 2016. No caso da física, temos um problema que aparentemente é recorrente em muitas cidades, por exemplo, a carga mista. Nesta carga, o professor deve dar tanto aulas de física quanto de química e/ou matemática e em muitos casos, esse professor não possui habilitação para isso. Devemos perceber que, por questões burocráticas, muitos docentes são obrigados a entrar em sala sem a devida preparação.

Quando falamos de astronomia, um grande problema surge. A falta de preparo do professor. Conforme discutido no parágrafo anterior, o licenciado em física muitas vezes não tem oportunidade de realizar uma disciplina de astronomia (mesmo como optativa) em seu curso. Assim, não tem contato nenhum com o tema na graduação. Os profissionais mais interessados poderiam pensar em fazer uma graduação específica na área, mas uma rápida olhada na internet mostra que existem apenas três universidades no Brasil com cursos de astronomia devidamente reconhecido pelo Ministério da Educação. Poderiam, alternativamente, ganhar formação em astronomia através da pós-graduação, mas novamente a mesma não é acessível a todos. Há, portanto, uma falta de profissionais da área e conseqüentemente falta de professores habilitados para discutir o tema em sala de aula.

Segundo Marília Nunes (2017) em seu trabalho intitulado “Possibilidades e Desafios no Ensino de Astronomia pela Língua Brasileira de Sinais”:

“Foi averiguado que parte dos professores não dominam os conceitos de astronomia corroborados pela inexistência nos estabelecimentos de ensino de assistentes de interpretes de Linguagem usual dos Surdos. O que constato é que o professor geralmente não tem conhecimento específico sobre essa ciência e principalmente de seu valor com um elo entre as diferentes disciplinas no processo de ensino e aprendizagem.”.

Um fator que dificulta a abordagem da astronomia nas escolas é o currículo, pois os profissionais em educação seguem orientação em três escalas cuja mais abrangente é a Federal. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), percebe-se uma falta de ênfase no conteúdo sobre astronomia. No exemplo a seguir, retirado deste documento, verificamos a informação de que essa disciplina estará diluída em uma outra grande esfera chamada ciências da natureza:

“Na elaboração do programa de ensino de cada uma das quatro disciplinas, está se levando em conta o fato de que elas incorporam e compartilham, de forma explícita e integrada, conteúdos de disciplinas afins, como Astronomia e Geologia.”.

Não existe nada errado nisso, pois a educação está em constante movimento e buscamos cada vez mais a interdisciplinaridade entre as áreas do conhecimento, porém, ao analisar mais a fundo este documento, nos deparamos com uma pergunta bem interessante “[...] E na astronomia, o que tratar? [...]” (Esta é a segunda vez que a palavra aparece no documento). Sabemos que na atual realidade, é muito complexo de se responder uma pergunta desse nível. Talvez ainda se passem muitos anos até que obtenhamos uma resposta que não seja específica e com muitos devaneios.

Na última situação, temos uma participação dentro da seção que explica a química. Segundo o documento:

“Entender como o ser humano vem se utilizando e se apropriando do mundo natural exige o estabelecimento de relações entre os muitos campos do saber, de maneira que o olhar da Química não exclui, ao contrário, necessita de constante interação com os conhecimentos da Biologia, Astronomia, Física, História, Geografia e até mesmo de Economia, Sociologia e Antropologia.”.

Analisando esse documento em si, não conseguimos nos aprofundar ainda sobre qual é o papel da Astronomia no sistema educacional do Brasil, pois é evidente a falta de informações específicas para inserção do tema na grade curricular. Para isso, analisaremos também o Currículo em Movimento, proposto pela Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal, e procuraremos mais informações a respeito dos conteúdos que devem ser abordados em sala de aula de maneira a alavancar o conhecimento dos alunos em astronomia.

Na edição do Currículo em Movimento (documento norteador dos conteúdos para a elaboração das aulas no DF), a palavra Astronomia aparece apenas uma vez e no mesmo contexto em que apareceu pela primeira vez no caderno dos PCN+, ou seja, novamente sendo absorvida por alguma outra área “de maior interesse” na educação. Nada diferente é visto nesse documento, uma vez que no cotidiano dos professores de física, temos uma tendência a explicar os conteúdos que irão ser cobrados nos exames de entrada em universidades e no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Assim, no primeiro ano, os alunos têm como conteúdos estruturantes a Gravitação Universal de Newton, Teorias sobre os movimentos dos corpos celestes (Heliocentrismo, Geocentrismo e etc.) e as leis de Kepler. Nenhum outro campo da astronomia é mencionado. E a mesma ausência ocorre nas demais séries do Ensino Médio. Precisamos urgentemente de uma mudança nessas configurações de ensino, afinal, a

pesquisa em Astronomia, Astrofísica e Cosmologia está em sua era de ouro com a exploração espacial e as fantásticas observações sobre o universo, tais como as recentes descobertas das ondas gravitacionais em 2015 pelo LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Waves Observatory*) e produção de imagem dos Buracos Negros em abril de 2019 publicada em edição extra do *The Astrophysical Journal Letter*, enquanto a realidade de sala no DF (e arrisco-me a dizer que no Brasil como um todo) está omissa à discussão sobre estes vários avanços científicos da atualidade.

O cenário pode ser modificado com a chegada do Novo Ensino Médio, e esperamos que haja uma melhora na abordagem dos conteúdos de astronomia, considerando também os anos finais do Ensino Fundamental. Assim, a preocupação sobre a inserção da astronomia deve estar presente nas discussões que norteiam esse novo sistema de ensino.

Tendo em vista todas as informações citadas acima, podemos fazer a seguinte reflexão: será que os conteúdos de astronomia estão hoje sendo contemplados de maneira efetiva? Ou são somente mencionados levemente, pois são temas de menor incidência no contexto dos exames externos? Logo, porque não pensamos em uma estratégia para aprofundar os conceitos do estudo dos corpos celestes? Esta dissertação apresenta como é possível trazer o tema “Buracos Negros” para a sala de aula e verificar a existência de evidências de aprendizagem significativa através da aplicação de uma UEPS (Moreira 2011). O objetivo é orientar e expandir o conhecimento dos estudantes, justificando-se através da complementação dos conceitos e expansão do conhecimento nas áreas de ciências, física e astronomia.

Para isso, faz-se necessária uma estruturação dessa dissertação em forma coerente para que os leitores deste trabalho sejam envolvidos e busquem a difusão dos conhecimentos relacionados à Astronomia no Ensino Médio de maneira a buscarmos uma resposta aos seguintes questionamentos: É possível ensinar temas de astronomia avançados, como os Buracos Negros, no EM? Seria uma UEPS uma boa estratégia de ensino?

A divisão dos capítulos será feita de acordo com a seguinte tabela:

<b>Número do Capítulo</b>	<b>Título</b>	<b>Descrição</b>
---------------------------	---------------	------------------

<b>1</b>	<b>Levantamento Bibliográfico</b>	<b>Relação de obras utilizadas no auxílio da construção dessa dissertação.</b>
<b>2</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Separação das obras em núcleos de relevância e descrição dos tópicos relevantes utilizados nessa dissertação.</b>
<b>3</b>	<b>Documentos oficiais Norteadores da Educação Federal e Distrital</b>	<b>Análise dos documentos procurando evidências da importância do ensino de astronomia nos escopos federais e distritais.</b>
<b>4</b>	<b>Astronomia</b>	<b>Capítulo de cunho acadêmico para os leitores dessa dissertação.</b>
<b>5</b>	<b>A Construção do Produto Educacional</b>	<b>Relato do processo de construção do produto Educacional</b>
<b>6</b>	<b>Relato de Aplicação</b>	<b>Exposição da maneira como o produto foi aplicado</b>
<b>7</b>	<b>Resultados e Análises</b>	<b>Apresentação e análise dos</b>

		<b>resultados obtidos durante a aplicação da UEPS.</b>
<b>9</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>Breve parecer sobre o projeto aplicado expondo os pontos fortes e os pontos que merecem melhor atenção.</b>

**Tabela 1** – A organização da dissertação

Ao final dos capítulos, encontram-se os apêndices com os planos de aula, o produto final e demais informações a respeito da aplicação do produto.

a) **Motivação da pesquisa**

No caso do Distrito Federal, temos a seguinte situação após leitura e análise dos documentos que regem a educação básica no DF: é evidente a carência de conteúdos relacionados à astronomia. Quando pegamos o Currículo em Movimento e fazemos uma busca rápida sobre astronomia e outros termos relacionados, temos uma baixíssima ou nenhuma aparição desses temas, o que é muito preocupante. Segundo este documento:

“[...] Esses componentes curriculares incorporam e compartilham – de forma explícita e integrada – conteúdos de ciências afins, como astronomia e geologia. Da mesma forma aspectos biológicos, físicos e químicos, presentes em questões tecnológicas, econômicas, ambientais ou éticas das relações interpessoais [...]”.

Ao analisar esse trecho em específico, podemos perceber que o tema está solto ali dentro com uma ampla variedade de possibilidades de estudo, porém nem sempre é de fato o que acontece em sala de aula, porque temos situações em que os professores que dividem essas áreas do conhecimento sequer conversam entre si para desenvolver um projeto ou um estudo mais aprofundado. Devemos perceber que não queremos produzir aqui uma nova componente curricular chamada “Astronomia” que estará na grade dos alunos junto com as outras disciplinas, mas sim dar uma importância maior

sobre os estudos do cosmos e seus conceitos, já que a nossa busca de informações sobre o universo está caminhando a passos largos juntamente com a tecnologia.

Em relatos de professores que também possuem o interesse em ensinar esses conteúdos, as ponderações mais comuns são:

- i) A falta de tempo – hoje em dia os vestibulares estão acontecendo cada vez mais cedo e as escolas precisam conseguir cobrir todos os conteúdos previstos nos editais de seleção.
- ii) Os vestibulares – normalmente em exames de seleção os conteúdos de astronomia se resumem aos modelos astronômicos, as leis de Kepler e a gravitação universal de Newton.
- iii) Os livros didáticos – muitos deles não apresentam conteúdos suficientes para adentrar nesses temas e então temos uma grande perda de qualidade no que se trata de abordagens mais específicas da astronomia.

Uma crítica muito pertinente para o segundo tópico é que existem diversas maneiras de entrar em uma universidade aqui no DF: temos o PAS, o vestibular e o SISU/ENEM. E em nenhuma delas a presença dos temas de astronomia é expressiva. No PAS (Processo Avaliativo Seriado ou Processo de Avaliação Seriado), avaliação exclusiva da Universidade de Brasília, os estudantes passam por três testes durante o ensino médio, uma avaliação no primeiro ano, uma no segundo e uma no terceiro. Ao fazer um levantamento rápido sobre as questões de astronomia, teremos um percentual muito baixo de questões. Por exemplo, a incidência existe majoritariamente nas provas do primeiro ano, não existem registros nas provas da segunda etapa e pouquíssimas questões na terceira etapa (chegando a ser intermitente em alguns anos). O mesmo ocorre com respeito ao vestibular e ao ENEM. Em se tratando de ensino em geral, os exames de admissão são muito visados, tanto pelas escolas públicas quanto privadas, tendo em vista que no estigma social “quanto maior o número de aprovados, maior é a qualidade da escola”. Então é fácil perceber que existirá uma situação do tipo: se não temos incidência deste assunto no vestibular, então não devemos nos preocupar tanto com ele. Logo, podemos perceber que um fator que pode influenciar na escassez de conteúdos relacionados à astronomia é a aparente falta de interesse por parte das bancas avaliadoras para os exames externos, o que direciona o currículo das escolas a se enfocar nos conteúdos mais recorrentes.

A situação acima descrita é extremamente preocupante. pois estamos nos atendo a pequenas frações de conhecimento de uma área incrivelmente interessante e em pleno desenvolvimento sem nos preocupar com os avanços relacionados ao progresso em pesquisas na astronomia. Por exemplo, em uma experiência pessoal em sala de aula, quando a primeira foto foi divulgada em abril de 2019 pela NASA do Buraco Negro, pouquíssimos alunos sabiam que isso havia acontecido até que eu os atualizasse sobre o assunto.

A respeito dos recursos didáticos em sala de aula, mais especificamente dos livros, no ano de 2017, foi fornecida aos professores da rede pública uma ampla gama de materiais que estavam de acordo com o PNLD (Plano Nacional do Livro Didático) em que os professores da escola pública escolheriam os livros que seriam utilizados no triênio e em poucos exemplares foram encontrados assuntos mais aprofundados sobre astronomia. Normalmente, esses livros têm um custo de produção muito elevado, o que os tornam caros para o governo adquirir para os alunos e, por isso, os professores são obrigados a sempre apresentarem também uma segunda e terceira opção para a compra desse material. Esses conteúdos aparecem com maior frequência nos livros de terceiro ano do Ensino Médio e de maneira muito superficial. Já nas escolas privadas, temos o caso do “engessamento”, ou seja, devemos seguir à risca um dado material (que normalmente possui uma boa qualidade e o conteúdo é dividido de maneira mais estruturada para atender as demandas da escola) não podendo expor os conteúdos de astronomia de forma mais profunda. Ou seja, podemos ter alguns problemas relacionados a formação docente, planejamento da escola e até mesmo alinhamento com os conteúdos dos exames externos.

#### b) Problema de pesquisa

Durante as observações feitas em sala de aula, pudemos perceber que, apesar da tecnologia já ter se desenvolvido de maneira assustadoramente rápida, assim como os conhecimentos sobre os conceitos e estruturas associadas aos Buracos Negros, os estudantes parecem não perceber o que está acontecendo no “mundo astronômico”. Dados os fatores descritos na subseção acima, gostaríamos de responder à seguinte pergunta: Os conceitos de Buraco Negro estão sendo abordados ou tratados de maneira correta em sala de aula?

Seguimos agora nos capítulos subsequentes com a construção desta dissertação iniciando-se pelas referências bibliográficas que embasam e fundamentam os processos de elaboração da sequência didática em forma de UEPS.

## **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O processo escolhido para a revisão bibliográfica dessa dissertação foi delimitado entre os anos de 1979 até 2020, tendo em vista que não somente os conceitos sobre Buracos Negros englobados por estas datas sofreram alterações, mas também outras definições e análises também mudaram e, portanto, poderemos perceber uma evolução na construção dos conceitos conforme a ciência progride. Nos demais temas, como a aprendizagem significativa, UEPS e uso de vídeos como recurso facilitador de aprendizagem, fomos buscar diversas fontes confiáveis de informação, dentre elas: Teses, Dissertações, artigos publicados em periódicos internacionais, artigos publicados em periódicos nacionais reconhecidos, e livros tanto didáticos de física quanto livros que estão disponíveis nas livrarias, anais de conferências internacionais e anais de conferências nacionais.

### **1.1 Revisão de trabalhos anteriores**

A princípio, foi realizada uma vasta pesquisa sobre obras (artigos, teses e dissertações) já escritas sobre a aprendizagem significativa e ensino de astronomia no ensino médio com foco em Buracos Negros que utilizariam uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) de Moreira, porém, os resultados não foram satisfatórios e, então, fez-se necessário uma busca mais individual sobre cada assunto e, assim, faremos a ligação entre os respectivos temas e suas aplicações e importância ao longo deste trabalho.

Com relação ao tema Buracos Negros, utilizamos a base de dados de pesquisa da Sociedade Brasileira de Física (SBF), porém, até o presente momento, não foram encontrados nenhum trabalho, artigo ou pesquisa que esteja associando esse tema a uma UEPS, porém, ao separar os temas e procurarmos em outras plataformas com outros referenciais teóricos, pudemos encontrar alguns trabalhos como: Desafios e possibilidades no ensino de astronomia de Ferreira e Meghlioratti (2008), que está relacionado ao estudo de astronomia, e um trabalho de conclusão de curso da UFF do autor Luís Felipe de Oliveira Magalhães (2015). Estes trabalhos poderão nos auxiliar com o cerne da construção desta dissertação.

## 1.2 Referências utilizadas na construção desta dissertação

Para o tema “Buracos Negros” foram utilizados os seguintes materiais para a construção dessa Dissertação:

- i) *Física Moderna e Contemporânea Volumes I e II* – Peruzzo, Potker e Prado (2014). Neste livro que trata de diversos assuntos relacionados à física contemporânea, utilizamos principalmente os capítulos associados à astronomia, cosmologia e astrofísica;
- ii) *50 Ideias de Astronomia que você precisa conhecer* – De Gilles Sparrow (2016). Este livro aborda diversos temas de astronomia e fornece um panorama histórico através de uma linha do tempo e destaca diversas estruturas e conceitos do universo de maneira sucinta e objetiva;
- iii) *Astronomia para Leigos* – Stephen P. Maran (2011). Como o próprio nome sugere, temos uma leitura de caráter superficial, porém, cientificamente correto sobre diversos assuntos relacionados a astronomia. Vale ressaltar que este livro foi homenageado pela NASA por realização excepcional;
- iv) *New Horizons in Astronomy* – Brandt e Maran (1979). Usamos este livro para comparar os conceitos mais antigos envolvendo a astronomia e compará-los aos modelos mais modernos;
- v) *Fundamentos de Física Óptica e Física Moderna* – Halliday e Resnik (2016), para o uso de conceitos físicos relacionados ao estudo dos Buracos Negros que utilizam equações matemáticas para descrever os fenômenos associados a eles;
- vi) *Física Moderna* – Tipler (2013), livro usado para efeitos comparativos e comprovativos de conceitos físicos abordados ao longo dessa dissertação;
- vii) *Gravitation and Spacetime* – Ohanian e Ruffini (2013). Este livro aborda com um formalismo matemático mais completo e complexo os fenômenos associados a gravitação e temas derivados dela.

- viii) *Ensino de Astronomia no Ensino Médio – Uma proposta* – Albrecht e Voelzke (2016). Artigo que versa sobre os assuntos relacionados ao ensino da Astronomia no Ensino Médio.
- ix) *Conhecimentos em Astronomia de Alunos do Ensino Médio de uma Escola Estadual do Interior de Minas Gerais* – Assis, Monteiro e Paganotti (2018). Este artigo mostra um pouco da realidade do Ensino de Astronomia em uma escola do interior de Minas Gerais.

Percebeu-se, também, que devemos abordar primeiramente a ideia de aprendizagem significativa proposta por David P. Ausubel para que possamos evoluir para o conceito de UEPS. Logo, os materiais abordados aqui serão divididos basicamente em três grupos principais com desdobramentos ao longo de cada um para suas subdivisões relevantes para a produção desta dissertação.

Em se tratando da Aprendizagem Significativa, obtivemos um resultado muito positivo, tendo em vista o número de dissertações publicadas e que estão disponíveis na área do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Nessa busca, pudemos perceber que existem pelo menos 36 trabalhos que utilizam esse referencial teórico para o desenvolvimento de suas pesquisas. Alguns trabalhos utilizados foram localizados por meio dos mecanismos de busca e pesquisa do Google, principalmente o “*Google Academic*”, dada sua credibilidade com os textos nele publicados.

Ainda sobre a Aprendizagem Significativa, foram utilizados pelo menos quatro livros que tratam do assunto, que serão listados abaixo.

Para o tema Aprendizagem Significativa foram utilizados livros e artigos, os quais estarão descritos abaixo.

- Livros

- i) *Aquisição e retenção de conhecimentos* – Ausubel (2003), principal referencial teórico para o alicerce dessa dissertação. Fundamenta e conceitua diversos elementos específicos e explica como os procedimentos e processos acontecem através da sua teoria da psicologia da aprendizagem – A aprendizagem significativa;
- ii) *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares* – Moreira (2011). Nesta obra o autor apresenta uma profunda reflexão sobre o tema supramencionado;

- iii) *Teorias de aprendizagem* – Moreira (2011). Neste livro o autor expõe um panorama passando por todas as vertentes de aprendizagem e é possível estabelecer relações entre elas percebendo semelhanças e/ou diferenças;
  - iv) *Ensino e aprendizagem significativa* – Moreira (2017). Nesta obra o autor traz mais reflexões sobre a relação ensino e aprendizagem significativa.
- Artigos que fazem referência à aprendizagem significativa.
    - i) *O que é afinal aprendizagem significativa?* – Moreira (2012);
    - ii) *Organizadores prévios e aprendizagem significativa* – Moreira (2012);
    - iii) *Diagramas V e aprendizagem significativa* – Moreira (2007);
    - iv) *Aprendizagem significativa: um conceito subjacente* – Moreira (2010).

Todos esses artigos supracitados abordam a aprendizagem significativa de diferentes perspectivas e complexidade do conteúdo, porém, todos estão associados com o ensino de física de alguma maneira.

Para a UEPS temos um estudo de grande impacto.

- i) *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas* – UEPS, Moreira (2018). É um estudo que trata de como produzir uma sequência didática.

### **1.3 Documentos oficiais e norteadores da educação distrital e federal**

A respeito dos documentos norteadores, há os de abrangência nacional e distrital. Dos documentos de abrangência nacional, temos:

- i) Base nacional comum curricular (2018);
- ii) Sistema de Avaliação da Educação Básica (2018);
- iii) Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (1998).

E dos documentos de abrangência distrital podemos citar:

- i) Currículo em Movimento da Educação Básica (2010).

Temos que destacar ainda alguns periódicos que tratam do ensino de Astronomia no Brasil. (Não houve resultados satisfatórios quando a pesquisa foi feita procurando dados apenas sobre o Distrito Federal, então, fez-se necessário uma ampliação para todo o território nacional).

- i) *A pesquisa em Ensino de Astronomia para o Ensino Médio* – Siemsen e Lorenzetti (2017), que mostra um panorama das pesquisas no Ensino de Astronomia para o Ensino Médio através de análises de publicações de trabalhos de Pós-Graduação;
- ii) *Expectativas de Estudantes Sobre a Astronomia no Ensino Médio* – Peixoto e Kleinke (2016). Relatam em seu artigo como fizeram uma pesquisa em que perceberam que os temas de astronomia abordados na ficção científica eram de maior interesse entre os alunos envolvidos na pesquisa.

Diversos outros trabalhos foram utilizados, porém, não é possível conseguir classificá-los em grupos, então serão citados individualmente, cada um com uma breve explicação sobre a sua relevância nesta dissertação.

- i) *Proposta de plano de Aula para o Ensino de Física* – Silva Filho e Ferreira (2018). Modelo utilizado para a elaboração do plano das aulas que foram aplicadas na construção dos planejamentos da sequência didática apresentada nessa dissertação.
- ii) *Ensinando Física atômica para uma turma de terceiro ano do Ensino Médio* – Ferreira *et al.* (2018). Descrevem um método quantitativo de categorização e separação de respostas dadas pelos estudantes durante as avaliações previstas no planejamento.
- iii) *Avaliação da Aprendizagem Escolar – Estudos e Proposições*: Luckesi 2014. Utilizaremos esse livro para nos embasar nos processos avaliativos juntamente com os métodos avaliativos da UEPS de Moreira para potencializar a busca de evidências da aprendizagem significativa.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A Aprendizagem Significativa de David Ausubel**

Em oposição às teorias behavioristas, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel tem viés cognitivista e é construída sobre uma estrutura dinâmica de relações (majoritariamente interações e organizações) que existe dentro do cognitivo de cada indivíduo. Partindo desse pressuposto, devemos ressaltar que o autor dessa teoria acredita que o aprendizado de novos conteúdos se baseia no que já foi aprendido, isto é, a construção do conhecimento começa com a nossa percepção e reconhecimentos de eventos e objetos através de conceitos que já possuímos internamente. Segundo MOREIRA (2012):

“Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressam simbolicamente e interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e não arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura do sujeito que aprende.” (MOREIRA, 2012 P.6)

De maneira mais simples, Ausubel (2003) discorre que o entendimento da aprendizagem significativa surge essencialmente de um distinto processo de aprendizagem, pois essa teoria busca alcançar uma nova compreensão sobre determinado assunto.

O próprio autor classifica o conceito de aprendizagem significativa da seguinte maneira:

“A ‘aprendizagem significativa’, por definição, envolve a aquisição de novos significados. Estes são, por sua vez, os produtos finais da aprendizagem significativa. Ou seja, o surgimento de novos significados no aprendiz reflete a ação e a finalização anteriores do processo de aprendizagem significativa.”. (AUSUBEL, 2003 P. 71).

Essa teoria é muito bem aceita atualmente, tendo em vista o número de escolas que não estão mais trabalhando no contexto de estímulo-resposta; a aprendizagem agora deve ser significativa. Moreira (2011) discorre que hoje não se buscam mais respostas

baseada em estímulos, mas sim em significados, logo, o ponto chave é que a aprendizagem não deve ser baseada em estruturas comportamentais, mas alicerçada em variáveis mais complexas que possam ser potencializadas.

Com base nessas citações, podemos perceber que, através das interações, o estudante pode ancorar essas novas ideias em conhecimentos que já estão previamente fixados em sua mente, denominados, segundo Ausubel, como Subsunoçores. Para que a ancoragem seja feita de maneira eficaz, o aluno necessita perceber que de fato o que ele está estudando deve fazer algum sentido para ele, caso contrário, esse vínculo pode não ser forte o suficiente e assim enfraquecer os indícios da aprendizagem significativa.

### **2.1.1 A aprendizagem significativa**

Um dos autores mais citados hoje no ensino de Física é Marco Antônio Moreira. Utilizamos sua vertente para conseguirmos fazer uma melhor aproximação entre a Aprendizagem Significativa de Ausubel com a Física. Dentro dessa estrutura, o autor destaca que existem interações que aparecem de forma não-litera e não arbitrária, ou seja, são interações que não estão associadas com qualquer ideia prévia, mas sim com um conhecimento especificamente relevante que já se encontra na estrutura cognitiva do aluno. Segundo Moreira:

“É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-litera* e *não-arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.”. (MOREIRA, 2012, p. 6)

Ausubel ainda explica que a capacidade de relação não-arbitrária está relacionada ao fato de que se o material for não-arbitrário, existirá uma base construída de maneira adequada para que novas ligações não-arbitrárias possam existir dentro da estrutura cognitiva. Já no caso da não-litera, podemos associar não somente um texto, mas sim grupos de símbolos equivalentes que terão associações dentro da estrutura cognitiva do estudante.

Precisa-se destacar que o material que proporciona a aprendizagem significativa pode ter diversas aplicações. Ele pode estar aplicado de forma arbitrária e ligado a ideias específicas, ou seja, fornecendo elementos para que tenhamos mais generalizações, mas também pode relacionar com um conteúdo mais vasto de ideias, isto é, apresentar uma congruência entre esses pensamentos mais genéricos.

É possível perceber aqui a relação entre a aquisição de novos conhecimentos através de relações, interações e associações nas quais se consegue embasar um conteúdo mais específico sobre um conhecimento prévio relevante anterior. Essas interações nem sempre possuem caráter global, ou seja, acontecem todas ao mesmo tempo, porém, deve-se ressaltar que quando existe a aprendizagem significativa, os novos significados são conectados a esses conhecimentos anteriores, tornando estes mais estáveis para que o progresso da aprendizagem consiga trazer os resultados esperados. Devemos notar também que é possível que um conhecimento prévio consiga sofrer alterações sem perder a estabilidade.

### **2.1.2 Aprendizagem Mecânica**

Atualmente a aprendizagem mecânica é um termo que muitos professores preferem não usar, pois remete a uma realidade que não visa buscar o pleno desenvolvimento das capacidades cognitivas dos alunos. Sabe-se que muitas instituições são contra esse método de aprendizagem, porém Ausubel denuncia que, apesar de todo esse discurso das escolas de apoiar a aprendizagem significativa, ainda existem conteúdos potencialmente significativos sendo apresentadas de maneira mecânica.

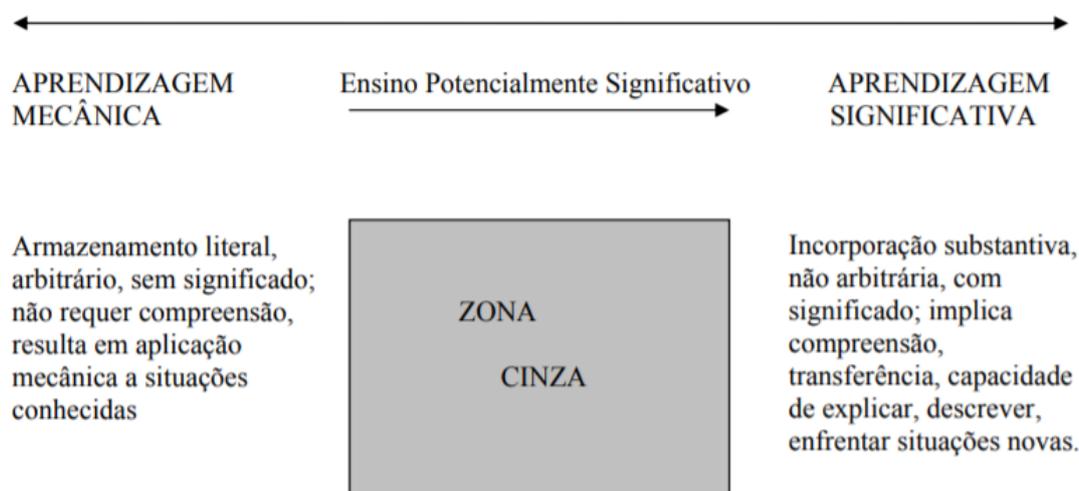
Moreira define a aprendizagem mecânica como aquela aprendizagem que não possui relação ou interação entre os conceitos aprendidos, ou seja, estes permanecem sendo armazenados de maneira literal e arbitrária, isto é, mantendo-se todos os significados como apresentados, sem possibilidade (ou com pouquíssima chance) de relação e construção de novos conceitos através da conexão entre eles. Segundo Moreira (2010):

“A aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida *decoreba*, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada na escola.” (MOREIRA, 2010, p. 12).

Nós professores temos o dever de evitar a situação acima descrita, porém, sabemos que nem sempre é fácil. Muitas escolas ainda se baseiam em resultados ao invés de aprendizado, ou seja, mesmo que as provas dos exames externos para as entradas nas universidades brasileiras já estejam mudando as suas características, ainda existe uma grande chance de que os alunos continuem sendo condicionados a se

prepararem para uma prova de larga escala em que o quantitativo sempre (ou quase sempre) se sobressai ao qualitativo.

Existe uma explicação de como fazer essa transição de tentar reduzir ao máximo o escopo da aprendizagem mecânica e fortalecer a aprendizagem significativa. Moreira ressalta através de uma imagem esse caminho:



**Figura 1:** Uma visão esquemática do contínuo de aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica, sugerindo que na prática grande parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária desse contínuo e que um ensino potencialmente significativo pode facilitar "a caminhada do aluno nessa zona cinza".

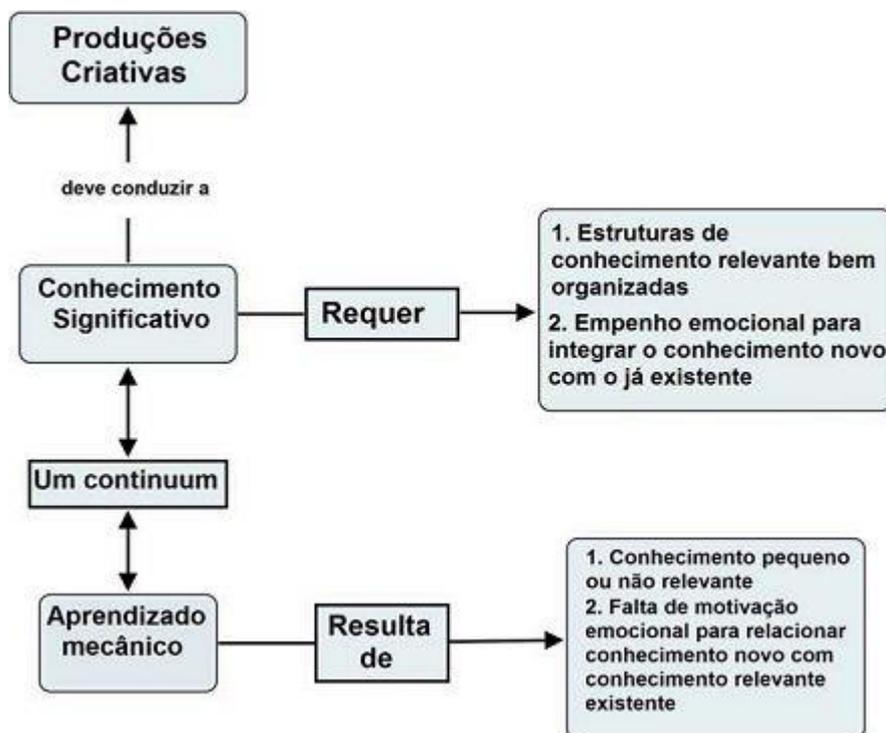
Ao analisar a figura 1, podemos perceber que não existe uma separação total entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa, ou seja, elas não são dicotômicas. Existe uma linha de pensamento aqui que sugere que a aprendizagem mecânica pode ser uma etapa do processo na construção da aprendizagem significativa. Apesar de serem completamente diferentes, existe uma área de transição da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa, a qual chamamos de zona cinza. Moreira faz uma dura crítica quando descreve a seguinte situação:

“... a passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural ou automática; é uma ilusão pensar que o aluno pode inicialmente aprender de forma mecânica pois ao final do processo a aprendizagem acabará sendo significativa.”.

Em sala de aula, é muito comum vermos a aplicação de determinado conteúdo da física sendo feita de maneira conteudista e, neste caso, os alunos dificilmente poderão aprender de maneira significativa, pois a reprodução direta de conteúdo sem

um pensamento crítico não faz sentido. Na verdade, nesses casos não se é ensinado a compreender a física, mas sim, reproduzi-la em forma de resolução de problemas.

Novak e Cañas apresentam esse continuum de maneira diferente, porém, informam como é dada essa interação:



**Figura 2** - Relação entre as produções e os aprendizados

Fazendo uma relação entre Novak e Cañas com Moreira, é possível perceber que as duas estruturas se baseiam em dois grandes fatores que serão abordados no subcapítulo seguinte.

Analisando a figura acima, percebemos que o conhecimento significativo requer um planejamento das atividades para que elas tenham sentido, fortalecendo o aprendizado através da criação de novas conexões com os conteúdos já aprendidos. Já quando o aluno vem com uma base prejudicada, seja qual for a razão, isso pode fazer com que a aprendizagem mecânica se sobressaia sobre a significativa. Vale ressaltar que a falta de motivação do aluno não significa apenas “gostar” da matéria, mas estar ciente de que o conhecimento que ali é apresentado para ele vai servir para alavancar o número de relações e conexões entre diversas áreas, fortalecendo assim sua estrutura cognitiva. Logo, devemos nos atentar ao fato de que é importante verificar essas duas condições para que a construção do conhecimento seja feita de maneira correta e efetiva.

Para essa dissertação, iremos propor a construção de uma sequência didática em forma de UEPS para que consigamos atingir os objetivos de maneira efetiva e coerente, pois, durante a aplicação desta sequência, as aulas, livros e aplicativos, por exemplo, serão ferramentas de apoio para atingir a meta de que o material seja potencialmente significativo.

### **2.1.3 Subsunoçores**

Para Ausubel, subsunçor (também conhecido como ideia-âncora) é um conhecimento específico que já está presente na estrutura cognitiva do indivíduo e que pode dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. O papel do subsunçor é fundamental para o desenvolvimento do processo de aprendizagem significativa do aluno, pois com novas ideias sendo apresentadas a ele, essas ideias precisam ser organizadas e associadas aos conhecimentos prévios dele. No caso da astronomia, devemos retomar as concepções básicas de Estrelas e Corpos Celestes para podermos dar início a uma construção de novos conceitos sobre as estruturas astronômicas a fim de aprofundar o conhecimento já adquirido previamente pelo aluno através de conexões e “ganchos” ligados a essas estruturas primitivas.

Para Ausubel, o conhecimento prévio é o ponto essencial para que exista a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Segundo Moreira:

“Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, essa variável seria o conhecimento prévio, os Subsunoçores já existentes na estrutura do sujeito que aprende.”

Sabemos que em diversas situações descritas na introdução deste trabalho, muitos alunos não possuem os conhecimentos prévios sobre Astronomia. Deve-se então fazer uma investigação da existência desses subsunoçores para que a sequência didática que será desenvolvida ao longo das aulas consiga atingir seu objetivo, que é a constatação de indícios de aprendizagem significativa.

Após o processo de verificação da existência dessas ideias-âncoras, é importante estabelecer de que maneira as interações serão feitas e buscar a reconciliação integrativa que, segundo Moreira, pode ser definida como:

“[...] é um princípio programático da matéria de ensino segundo o qual o ensino deve explorar relações entre ideias, conceitos proposições e

apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. Em termos cognitivos, no curso de novas aprendizagens, conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva podem ser reconhecidos como relacionados, reorganizam-se e adquirir novos significados[...]

No caso da Astronomia, devemos nos atentar ao fato de que muitos desses organizadores prévios podem estar solidificados no sistema cognitivo do estudante, porém, de maneira errônea. A pergunta que se pode fazer sobre isso é: O professor não tem condições para ensinar corretamente esse assunto e desenvolver de maneira efetiva a base conceitual dentro da mente do aluno? Independentemente da causa (que não é um aspecto que será abordado neste trabalho, pois não é o foco), agora nossa preocupação é compreender como reverter esse quadro, que é grave, pois esses subsunçores incorretos podem ser considerados fatores bloqueadores, ou seja, são capazes de realizar um “*downgrade*” nos conhecimentos do aluno. Neste caso, devemos trabalhar para que possamos obter uma assimilação obliteradora, que explica o processo de esquecimento de subsunçores passados visando a assentar novos conhecimentos âncoras (agora de maneira correta) para que o aluno consiga ter uma base sólida para a evolução do conteúdo ao longo da aplicação da sequência didática.

#### **2.1.4 Condições para a Aprendizagem Significativa**

A partir do momento em que o professor percebe que já conseguiu fazer essa verificação de conteúdos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos, podemos seguir em frente com a construção do conhecimento segundo as orientações da aprendizagem significativa.

Segundo Ausubel (2003), para que a aprendizagem significativa aconteça, faz-se necessário que algumas “exigências” sejam atendidas. Moreira ainda seleciona duas como muito importantes:

- 1) *O material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e*
- 2) *O aprendiz deve apresentar uma predisposição a aprender.*

Logo, ao assegurar esses dois tópicos acima citados, precisamos investigar minuciosamente cada um deles. No primeiro caso, os materiais podem ser artigos, livros ou aplicativos para Smartphones, Tablets, Computadores entre outros tantos disponíveis para uso dos docentes. De acordo com Moreira, estes elementos devem conter uma estrutura lógica, um significado lógico, ou seja, o material deve ser relacionável de

maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. Já para a segunda exigência, o autor ainda defende que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Moreira relata esse fato em seu artigo *O que é afinal aprendizagem significativa* da seguinte maneira:

“É importante enfatizar aqui que o material só pode ser *potencialmente significativo*, não *significativo*: não existe livro significativo, nem aula significativa nem problema significativo, [...], pois o significado está nas pessoas e não nos materiais. [...] A segunda condição é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira: o aprendiz deve querer relacionar novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição a aprender.”

Experiências pessoais mostraram que quando tratamos do assunto Buracos Negros, os alunos demonstram-se extremamente interessados acerca do tema. Assim, podemos ter uma grande vantagem, pois quando existe uma predisposição para aprender, temos um cenário muito mais favorável para que haja indícios da aprendizagem significativa.

Deve-se ressaltar também que essa disposição prévia para aprender não deve ser confundida com “gostar da matéria”; o sujeito aqui tem um papel em ter a propensão e precisa estar inclinado a receber novas ideias e agregar novos significados com intuito de enriquecê-la e torná-la mais elaborada.

Atualmente, devemos tomar um grande cuidado, pois em diversas situações, o fato de que um estudante consegue resolver um problema por completo nem sempre significa que houve aprendizagem significativa, muitas vezes é só uma resolução mecânica. É muito simples de perceber isso: muitas vezes em sala de aula, os alunos nos perguntam diretamente “Professor, qual fórmula eu tenho que utilizar aqui?” e isso me causa uma tristeza enorme, pois nosso sistema educacional é falho em muitos casos. Essa pergunta remete a aprendizagem mecânica (também conhecida popularmente por “decoreba”), que basicamente leva os aprendizes a resolverem situações problemas de maneira sem significado, ou seja, apenas com memorização (muitas vezes mecânica) de processos a serem reproduzidos unicamente com intuito de realizar uma prova ou avaliação qualquer. Uma explicação possível é que, em nosso país, o ingresso em instituições de ensino superior é majoritariamente baseado

em avaliações de diversas áreas do conhecimento e normalmente por meio de avaliações com muitas questões objetivas.

Nos critérios avaliativos da aprendizagem, temos grande dificuldade em avaliar se houve de fato a aprendizagem significativa. Assim, enquanto educadores, precisamos buscar evidências de que o processo da construção do conhecimento se deu de maneira significativa. Segundo Ausubel (2003) temos:

“[...] nem sempre é fácil demonstrar que ocorreu aprendizagem significativa. A compreensão genuína implica a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Porém, se alguém tentar testar tais conhecimentos, pedindo aos estudantes que indiquem os atributos de critérios ou os elementos essenciais de um princípio, pode simplesmente fazer com que surjam verbalizações memorizadas.” (AUSUBEL, 2003, p. 130)

Tendo em vista a citação acima, devemos nos preocupar com o “gatilho” para a produção de respostas prontas. Então, para verificarmos se o processo ocorreu de maneira correta e satisfatória, Ausubel sugere que novas situações que envolvam os conhecimentos que foram assimilados (em teoria) sejam aplicadas para que se possa perceber esse indício de aprendizagem significativa.

### **2.1.5 Organizadores Prévios**

Outro conceito que devemos abordar aqui, está relacionado aos organizadores prévios. Durante a análise da obra de Ausubel, publicada em 2003, é possível relatar que esses organizadores são usados para facilitar a aprendizagem através de recursos instrucionais, de maneira geral respeitando a ordem de que sua apresentação ocorra antes de uma nova informação ou conceito ser apresentado.

Deve ser ressaltado que uma falta de subsunções nem sempre está atrelada ao uso de organizadores prévios, porém, quando é inexistente a relação entre os conhecimentos adquiridos a priori com as novas informações fornecidas de maneira rápida, estes organizadores devem ser direcionados com um propósito de melhorar a efetividade do aprendizado.

Moreira em 2012 definiu organizador prévio como “um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusão em relação ao material de aprendizagem.”. Sendo assim, podemos relacioná-lo com diversas estratégias para elevar o nível de abstração de determinado conteúdo a ser aprendido.

Dentre as estratégias relacionadas por Moreira na mesma obra, podemos citar:

- i) Um enunciado;
- ii) Uma pergunta;
- iii) Uma situação-problema;
- iv) Leitura introdutória;
- v) Uma aula precedente a uma sequência de outras aulas, entre outros.

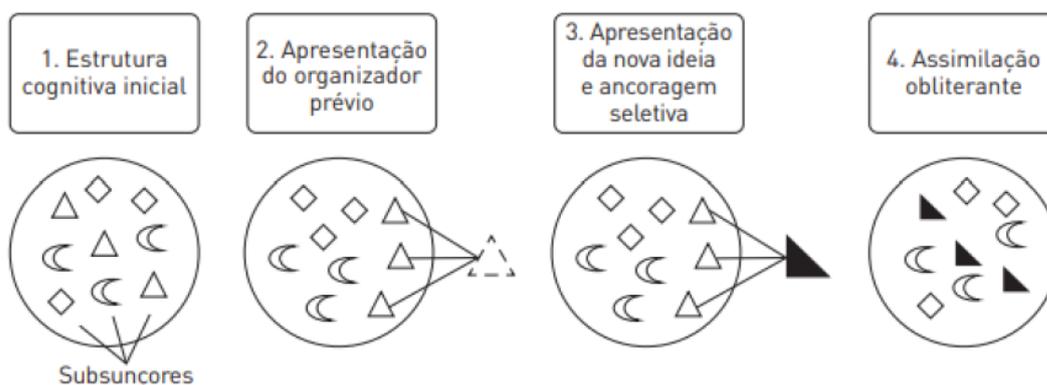
Vale ressaltar aqui também que existem diversas possibilidades para combinações, porém, o autor destaca que essas estratégias devem anteceder a apresentação do material de aprendizagem significativa e as características delas devem ser mais generalizadas e inclusivas que o próprio material.

Durante o processo de potencialização da Aprendizagem Significativa dos estudantes, Silva Filho e Ferreira (2018) apontam que os organizadores prévios precisam ser construtos relacionais dentro da estrutura cognitiva entre os subsunçores e novos conhecimentos.

Moreira afirma que:

Na prática, organizadores prévios funcionam melhor quando explicitam a *relacionabilidade* entre novos conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Muitas vezes, o aprendiz tem o conhecimento prévio, mas não percebe que está relacionado com aquele que lhe está sendo apresentado. (MOREIRA, 2011a, p. 11)

Para compreendermos melhor essa relação entre um conhecimento já adquirido e que está bem consolidado na estrutura cognitiva do estudante com a nova informação apresentada, trouxemos uma imagem que nos ajuda a entender o papel dos organizadores prévios nessa correlação.



Fonte: Ribeiro; Silva e Koscianski (2012, p. 171)

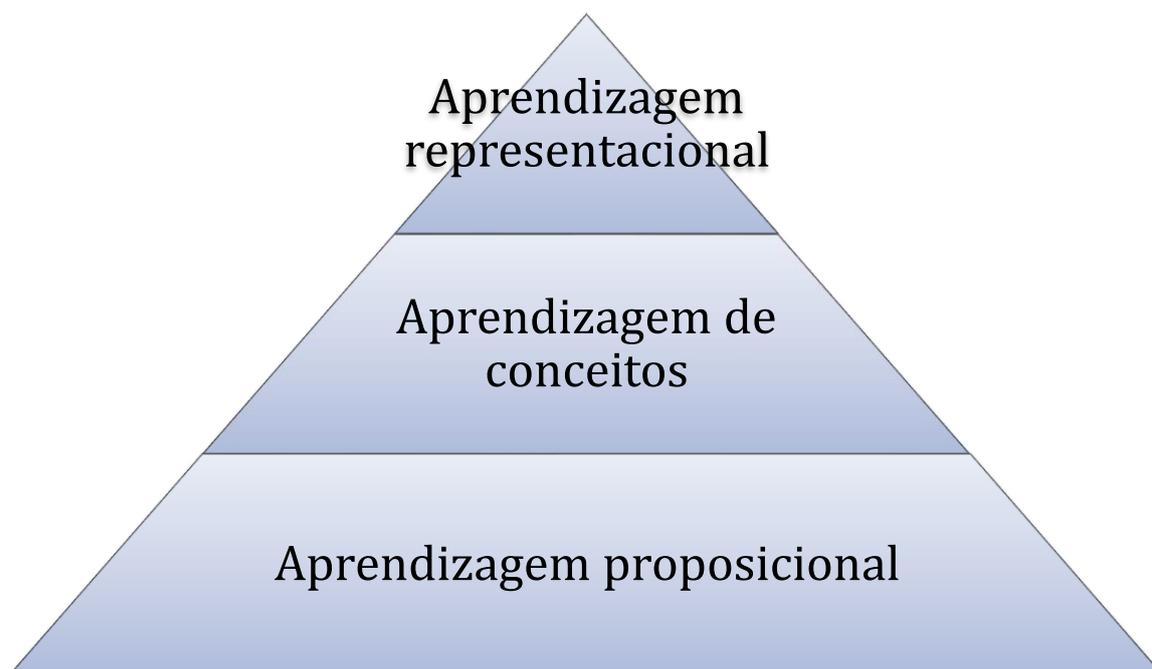
**Figura 3** - A função do organizador prévio

Para esta dissertação, os organizadores prévios que serão abordados durante a aplicação desta UEPS estarão associados à astronomia e mais especificamente aos Buracos Negros e suas origens. É esperado que os estudantes que estarão sujeitos à aplicação dessa sequência didática tenham um conhecimento prévio (mesmo que mínimo) sobre alguns conceitos de astronomia para que possamos ancorar novas ideias a esses subsunçores básicos.

No caso do tema de Buracos Negros, a construção do processo dos organizadores prévios se dará através de uma composição de relações entre os subsunçores e os conceitos mais abstratos da astronomia. Precisamos que os estudantes consigam compreender de maneira correta o processo e as condições para as formações de Buracos Negros. Para atingir tal objetivo, teremos a construção de um jogo, aqui chamado “Jogo das Estrelas”, para que eles possam analisar as características oferecidas e localizá-las no diagrama de Hertzsprung-Russel, facilitando assim a compreensão aprofundada dos tipos de estrelas existentes no Universo.

#### **2.1.6 Tipos de Aprendizagem Significativa**

Existem basicamente três classificações da aprendizagem significativa. A figura abaixo ilustrará em ordem crescente de complexidade a característica de cada uma delas, segundo Ausubel (2003) propôs.



**Figura 4** - Tipos de aprendizagem significativa

Para melhor exemplificar:

- A aprendizagem representacional está associada ao trivial ou fundamental, ou seja, nela podemos atribuir significado a símbolos associados (podendo esses ser desenhos, palavras, som, etc.), aproximando-se muito da aprendizagem mecânica.
- A aprendizagem de conceitos é objetiva quando tratamos da concepção dos conceitos, tendo em vista que conceitos podem ser representados por símbolos, o que a torna uma situação particular da aprendizagem representacional.
- A aprendizagem proposicional é a mais profunda dentre elas, pois é através das proposições que os estudantes deverão ser capazes de reconhecer ou distinguir os significados das ideias a partir de uma premissa para ele apresentada.

Essas três partes formarão uma base sólida para o próximo passo do estudante, que é a obtenção de novos conhecimentos, ou seja, a partir das aprendizagens acima citadas, teremos um processo de aquisição de novas informações facilitadas.

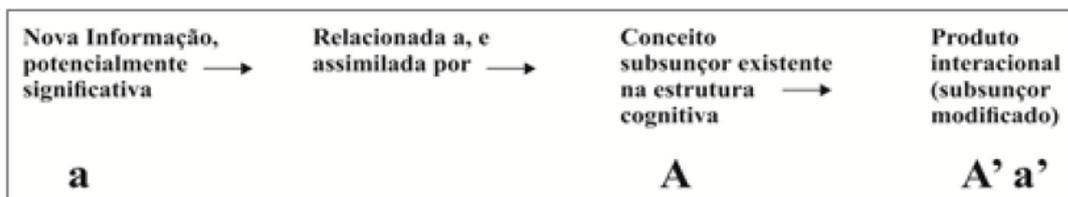
### **2.1.7 A teoria da Assimilação de Ausubel**

Durante o processo de aprendizado dos estudantes, Ausubel estabelece que a apresentação de uma nova informação ao se relacionar com o conceito intrínseco preexistente na estrutura cognitiva do aluno manifesta um novo subsunçor mais geral e mais estável, ou seja, estruturando, na parte de armazenamento de informações do cérebro, uma hierarquia conceitual.

Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. A estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo. (MOREIRA, 2017, p. 161).

Para a melhor visualização, a imagem abaixo mostrará um breve esquema feito por Moreira (2017) mostrando como se dá o processo de assimilação, aquisição e organização de significados (novos ou não) dentro da estrutura cognitiva do estudante. Para efeitos de melhor entendimento, definimos aqui que uma nova informação que será

apresentada em forma de conceito ou proposição cujos graus de inclusividade e significado são mais elevados será chamado de “a” e deve ser incorporada de maneira intencional e não arbitrária durante o processo de aprendizagem. Para isso, temos a pretensão que conhecimentos específicos e relevantes na estrutura cognitiva se relacionem com o subsunçor “A” preexistente, fazendo com que surja um novo produto “a’A’”, que é resultado da modificação do subsunçor.



Fonte: Moreira (2017, p. 166)

**Figura 5** - Representação Gráfica da Teoria da Assimilação de Ausubel proposta por Moreira

Durante o processo de assimilação e retenção, deve-se destacar que, por um transitório período temporal, é possível que a informação **a** e o subsunçor **A** possam ser dissociados do produto recém gerado, ou seja:



Fonte: Moreira (2017, p. 166)

**Figura 6** - Representação gráfica da assimilação dissociável

Observando a imagem acima e associando o pensamento de Moreira e Mansini (2016), é possível perceber que durante o processo de assimilação obliteradora, ou seja, o processo de estabilidade do subsunçor “A”, que pode ser descrito como um resultado mais estável do produto da interação “a’A’” provoca uma modificação no subsunçor original ou no lapso desta parte menos estável dele.

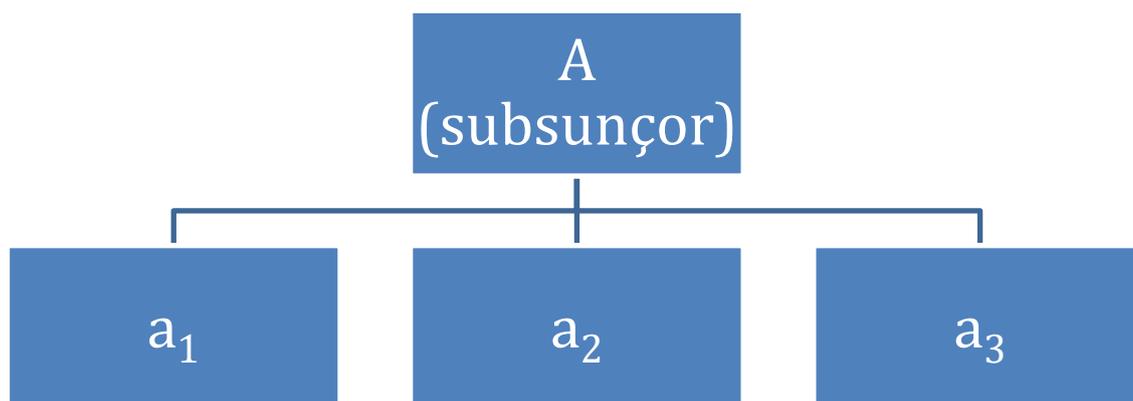
“[...] pode-se dizer que, imediatamente após a aprendizagem significativa, começa um segundo estágio da subsunção: a assimilação obliteradora. As novas informações tornam-se espontânea e progressivamente, menos dissociáveis, de suas ideias-âncora (subsunçores) até que não mais estejam disponíveis, isto é, não mais

reproduzíveis como entidades individuais. Atinge-se então um grau de dissociabilidade nulo, e A'a' reduz-se simplesmente A'. O esquecimento é, portanto, uma continuação temporal do mesmo processo de assimilação que facilita a aprendizagem e a retenção do processo de novas informações.”. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 27).

Na teoria de Ausubel (2003), a descrição das formas de assimilação de novos conteúdos está diretamente conectada com a interação entre um novo conceito ou informação e aquela que já está consolidada dentro da estrutura cognitiva do aprendiz, gerando assim três tipos de aprendizagens: a subordinada, a superordenada e a combinatória.

#### 2.1.7.1 A aprendizagem subordinada

A classificação da aprendizagem subordinada está relacionada ao conjunto de novas informações, as quais devem ser potencialmente significativas (aqui as chamaremos de  $a_1$ ,  $a_2$ , e  $a_3$ ) que são assimiladas através de uma hierarquia abaixo do subsunçor “A” (já presente na estrutura cognitiva do estudante). Sabendo que “A” é mais geral, entendemos que as informações potencialmente significativas são **subordinadas** à ideia-âncora.

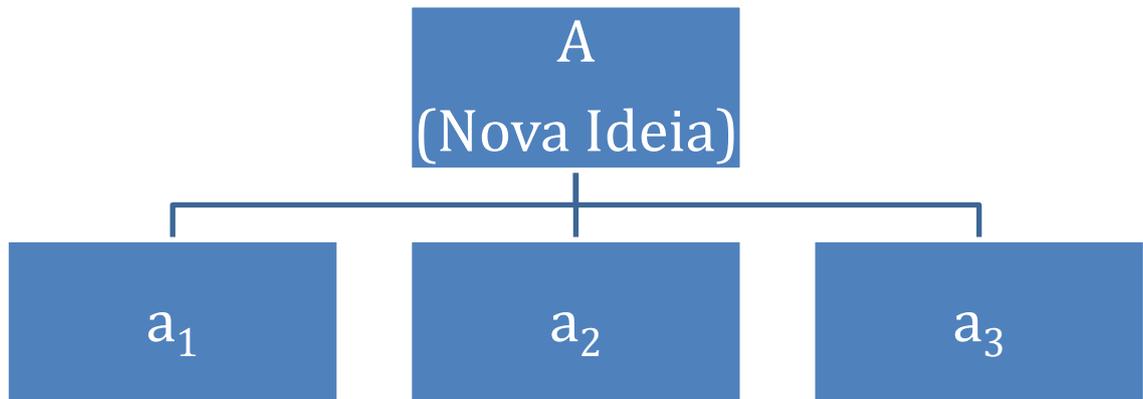


**Figura 7** - Representação gráfica da aprendizagem subordinada  
Fonte: Imagem de autoria do próprio autor

#### 2.1.7.2 A aprendizagem superordenada

A aprendizagem superordenada possui certa semelhança com a subordinada, porém, existe uma pequena inversão no sentido. Neste caso, as novas ideias

potencialmente significativas (aqui as chamaremos de A) possuem um papel mais geral, mais inclusivo, ou seja, nesta parte, teremos uma hierarquia em que essas ideias se encontram acima dos subsunçores (aqui chamados de  $a_1$ ,  $a_2$ , e  $a_3$ ):

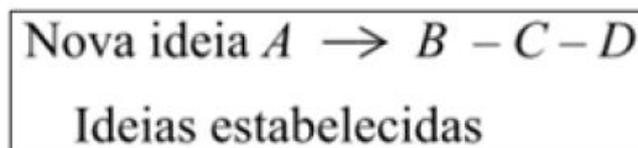


**Figura 8** - Representação gráfica da aprendizagem superordenada  
Fonte: Imagem de autoria do próprio autor

### 2.1.7.3 A aprendizagem combinatória

Quando uma nova informação potencialmente significativa não consegue se enquadrar nem no contexto da aprendizagem subordinada e nem no contexto da superordenada, define-se aqui um novo modelo de aprendizagem, a aprendizagem combinatória. Neste caso, a nova informação não necessariamente tem uma conexão com um contexto ou conceito específico, mas se relaciona de maneira mais abrangente com a estrutura cognitiva.

Ausubel representa essa aprendizagem com uma imagem que relaciona a nova ideia A com todos os segmentos:



Fonte: Ausubel (2003, p. 111)

**Figura 9** - Relação de Ideias

Moreira (2012) faz uma breve comparação entre a teoria proposta por Ausubel e a teoria de Piaget da seguinte maneira:

“Ausubel chamou de assimilação e que não é a mesma assimilação de Piaget. A assimilação ausubeliana é o processo, já descrito, no qual um novo conhecimento interage, de forma não-arbitrária e não literal com algum conhecimento prévio especificamente relevante. É a “ancoragem” também já referida, na qual o novo conhecimento adquire significados e o conhecimento prévio adquire novos significados. Nessa interação, os dois se modificam, porém, diz-se que a aprendizagem significativa foi subordinada. Trata-se de uma interação cognitiva entre os conhecimentos novos e prévios, não uma interação sujeito-objeto, como na assimilação piagetiana (MOREIRA, 2012, p. 10).

### **2.1.8 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora**

A instrução de Ausubel, para que tenhamos êxito no procedimento de instrução do processo de ensino-aprendizagem é que, ao aplicar ou instruir à luz de sua teoria da aprendizagem significativa, sigamos as seguintes sugestões:

- Após estabelecer o conteúdo que irá ser ensinado, o docente necessita compreender quais são os níveis de relacionamento e detalhamento dos conceitos estruturantes desse conteúdo; e
- A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora estão associadas à programação do conteúdo.

Em sua teoria, Ausubel explica que a diferenciação progressiva é muito presente nos processos em que a aprendizagem significativa subordinada ocorre e está correlacionada de maneira muito próxima com a estrutura da programação de um conteúdo, tendo em vista que nessas situações normalmente existem ideias mais generalistas apresentadas para facilitar a compreensão de um conteúdo e, conforme o cronograma vai avançando, as novas ideias serão diferenciadas de maneira progressiva ao longo do processo em função do grau de detalhamento.

“Ao propor isso, Ausubel baseia-se em duas hipóteses; a) é mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido do que chegar ao todo a partir de suas partes; b) a organização do conteúdo de uma certa disciplina, na mente de um indivíduo é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 29).

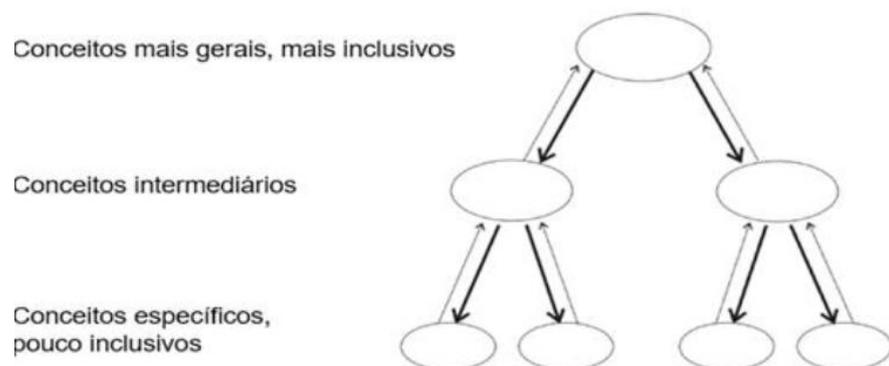
Quando a aprendizagem significativa ocorreu através de diversas interações no sistema cognitivo do estudante, surge o desenvolvimento de novos conceitos que são mais elaborados e diferenciados. Para Ausubel, é importante que exista a apresentação de características mais gerais e/ou inclusivas para existir um processo facilitador e em seguida, mais tarde, ocorre o processo de diferenciação progressiva para expor as especificidades durante o processo de ensino-aprendizagem.

Quando falamos sobre a reconciliação integradora, podemos perceber que aparece uma consonância entre os conceitos menos abrangentes (inclusivos), que já se encontram na estrutura cognitiva do estudante, com a nova informação, mais específica, e que existe, por exemplo, percepções de semelhanças e diferenças entre esses dois conceitos de graus de complexidade diferentes.

“[...] reconciliação integrativa é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explicar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.” (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 29).

Moreira e Masini utilizam uma figura para melhor representar essa ligação e descrevem o passo a passo da seguinte maneira:

“[...] as linhas mais fortes sugerem a direção recomendada para a diferenciação progressiva de conceitos. As linhas mais fracas sugerem a reconciliação integrativa. Isto é, para se atingir a reconciliação integrativa é preciso “descer” dos conceitos gerais para os particulares e subir novamente até os gerais.” (MOREIRA; MASINI, 2016 p. 33).



Fonte: Moreira e Masini (2016, p. 33)

**Figura 10** - Representação gráfica da diferenciação progressiva e reconciliação integradora

Diante de todos esses conceitos acima expostos, utilizaremos essas ideias, etapas, princípios e suposições ausubelianos, em conjunto com as observações e pontos de vista de Moreira, para a elaboração de uma sequência didática construída tal que a organização hierárquica dos conceitos seja estruturada focando a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

## **2.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS**

Quando tratamos do assunto de UEPS, temos como principal referência o professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Marco Antônio Moreira. Moreira define uma UEPS como uma sequência de ensino com atividades e conceitos específicos voltada para a promoção da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Durante os estudos no curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (Polo UnB), fomos orientados por professores extremamente capacitados e que nos instigaram a aprofundar os conhecimentos sobre as teorias de aprendizagem, entre eles podemos citar Silva Filho e Ferreira (2018), que apresentam uma UEPS como uma proposta metodológica que oportuniza a articulação entre uma teoria educacional e uma teoria de aprendizagem. De maneira sintética, para o que o professor consiga elaborar uma sequência didática, ele deve seguir uma estrutura da seguinte forma.

1. *Levantamento dos conhecimentos prévios;*
2. *Elaboração dos organizadores prévios;*
3. *Construção das situações-problemas;*
4. *Realização da diferenciação progressiva dos conceitos;*
5. *Realização reconciliação integradora;*
6. *Efetivação do processo de consolidação;*
7. *A avaliação da aprendizagem significativa.*

(SILVA FILHO; FERREIRA. 2018, p. 108).

Tendo definido nosso referencial teórico, a presente dissertação será construída passando por esses passos. Todo esse processo estará mais aprofundado no capítulo que explicará a metodologia adotada.

No capítulo que se segue, daremos início a uma análise de caráter físico sobre os Buracos Negros e os formalismos adotados para a melhor compreensão dos conceitos primordiais e conteúdos relacionados à formação desses elementos.

### **3. BURACOS NEGROS**

Nesta seção, daremos início ao formalismo necessário para a apresentação do conteúdo dos Buracos Negros. Precisaremos, primeiro, passar um panorama histórico sobre esse elemento tendo em vista que as pesquisas são consideravelmente recentes quando se trata deste tema.

Na sequência, devemos mostrar como ocorrem as formações e classificações dos Buracos Negros através das estrelas envolvidas no processo, bem como uma breve descrição das características e condições para a existência de um Buraco Negro.

Posteriormente, analisaremos um pouco a geometria de um Buraco Negro, definida pelo conceito de métrica espaço-temporal. Esse ente geométrico está relacionado à gravidade: representa ao mesmo tempo a geometria e a interação gravitacional. A matemática envolvida na Relatividade Geral, essencialmente geometria diferencial e cálculo tensorial, teoria que descreve os Buracos Negros assim como toda a dinâmica astrofísica e cosmológica, é bastante complexa e raramente é abordada nos cursos de graduação, não fazendo parte da realidade vivenciada pelos professores. Portanto, o intuito desta pesquisa é fornecer uma ideia geral sobre o assunto de maneira mais conceitual e não se aprofundar em cálculos complexos. Serão recomendadas algumas leituras, caso haja interesse no aprofundamento dos temas.

Na seção a seguir, teremos um breve panorama histórico sobre os Buracos Negros e como eles foram previstos.

#### **3.1 Histórico**

Muitas pessoas acreditam que o conceito de Buraco Negro é muito recente, e elas estão corretas. Entretanto, uma rápida pesquisa bibliográfica mostra que um conceito similar já havia sido introduzido no século XVIII. Com uma interpretação sugestiva, John Mitchell em 1784, afirmou que se um corpo é suficientemente massivo, toda a luz emitida por tal corpo estaria destinada a voltar ao corpo pelo seu próprio poder de gravidade. Mais tarde, ainda no mesmo século, Pierre-Simon de Laplace fez a mesma conjectura, porém, dando um tratamento matemático para a análise da matéria.

Durante uma análise feita por Stephen J. Crothers, é muito importante perceber que existe uma falha nesse modelo de Mitchell-Laplace, pois o objeto gravitacional não se trataria de um Buraco Negro, mas sim um corpo negro. Para isso, o autor se baseou em um conceito muito simples e que é bem compreensível: o da velocidade de escape.

Segundo Halliday e Resnick (2016), quando um projétil é lançado para cima, normalmente existe uma desaceleração, um breve momento de repouso e o retorno para a superfície do planeta. Por outro lado, para valores de velocidade grandes o suficiente, o projétil vence o campo gravitacional e consegue ir para longe da Terra. Assim, há um valor mínimo de velocidade para que isso ocorra: o projétil alcança uma distância infinita da Terra (pelo menos em teoria) com velocidade nula ao final do percurso. Esse valor é denominado velocidade de escape. Lembramos que esse fenômeno é previsto apenas para corpos massivos, porém, não se aplica aos fenômenos que acontecem para a luz.

Para compreendermos de maneira melhor essa colocação, utilizaremos a mecânica Newtoniana e os conceitos e definições matemáticas de trabalho, energia cinética e energia potencial gravitacional.

No caso de um objeto ser lançado para cima com certa velocidade, percebemos que o trabalho realizado  $W$  pela força gravitacional  $\vec{F}$  ao longo da trajetória do movimento entre a posição  $R$ , que é o raio Terra (corpo na superfície) e o infinito, pode ser descrito pela seguinte integral:

$$W = \int_R^{\infty} \vec{F}(r) d\vec{r}$$

Neste caso, é possível perceber que a força em questão é a Força Gravitacional de Newton e que estamos tratando agora de uma simetria esférica (por aproximação, pois sabemos que o planeta Terra não é perfeitamente esférico). Logo, fazendo a substituição da força  $\vec{F}$  e do elemento de integração  $d\vec{r}$  em coordenadas esféricas, teremos a seguinte equação:

$$W = -GMm \int_r^{\infty} \frac{1}{r^2} dr$$

As grandezas  $M$  e  $m$  são as massas do planeta em questão e do projétil, respectivamente.

Ao realizarmos a integração simples da equação acima, teremos como resposta a seguinte expressão:

$$W = -GMm \left[ \frac{1}{r} \right]_R^{\infty}$$

Ao realizarmos a operação com os limites superior e inferior da equação acima, aproximamos o valor de  $r$  para infinito e teremos um número tão pequeno que pode ser considerado 0, logo, a expressão acima se reduz a:

$$W = -\frac{GMm}{R}$$

Da definição de que a variação da energia potencial  $\Delta U$  é igual ao negativo do trabalho ( $\Delta U = -W$ ), pois estamos considerando a força gravitacional como conservativa,

$$U_{\infty} - U = -W$$

E como a energia potencial no infinito é nula, obtemos:

$$U = W = -\frac{GMm}{R}$$

Para essa situação, definimos que, no ponto mais distante, a energia mecânica do projétil é igual a zero então e, dada a conservação de energia mecânica, essa energia deve ser a mesma no momento do lançamento do corpo na superfície da Terra ( $r = R$ ), com velocidade de lançamento satisfazendo:

$$K + U = \frac{1}{2}mv^2 + \left(-\frac{GMm}{R}\right) = 0$$

Isolando a velocidade, teremos o módulo da velocidade de escape de um projétil que é arremessado da superfície a partir da superfície da Terra (o cálculo vale, naturalmente, para qualquer corpo celeste em velocidades não relativísticas):

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Essa demonstração fez-se necessária para compreendermos porque o conceito de Mitchell-Laplace não é um Buraco Negro, mas sim um corpo negro. Para velocidades abaixo da velocidade de escape, um corpo arremessado da superfície viajará por uma distância finita e retornará à superfície. Consequentemente, um observador localizado em uma posição favorável veria o objeto viajando duas vezes, ou seja, uma se afastado do solo e depois retornando em sua direção. No caso dessa velocidade ser superior a  $v$ , o observador localizado em qualquer ponto da trajetória iria ver o objeto viajar em uma trajetória unidimensional.

Crothers afirma que:

“Se a velocidade de escape for maior que a velocidade da luz, então a luz viajaria um distancia finita, pararia momentaneamente e voltaria ao ponto de origem em que um observador bem localizado iria ver a luz passando duas vezes, uma em na direção para fora e em seguida retornando. Em compensação, se um observador esteja a uma distância finita e suficientemente grande não verá a luz pois ela não chega até ele.”. (CROTHERS, 2006, p. 54)

Neste caso, a luz não chega ao observador e, para todos os efeitos o objeto é escuro, mas não significa que a luz não consiga sair da superfície dessa fonte gravitacional. Já para os cientistas relativísticos, nenhum objeto pode sair da “superfície” do Buraco Negro, nem mesmo a luz, também conhecida como o horizonte de eventos. Sendo assim, ao fazer uma análise deste movimento, é possível perceber que um observador que esteja localizado mesmo que muito próximo ao horizonte de eventos, não veria luz alguma.

Comparando então as duas situações, a relativística e a proposta por Mitchell-Laplace, podemos perceber que existe uma diferença conceitual bem definida para os conceitos de corpo escuro e um Buraco Negro, e basicamente essa diferença está baseada na velocidade de escape.

Durante a próxima saga da evolução conceitual sobre Buracos Negros, encontramos futuramente, no século XX, o próprio Einstein, criador da teoria de Relatividade Geral, que em princípio, não acreditou na possibilidade de existência do Buraco Negro, que surge teoricamente no contexto de sua própria teoria. Curiosamente, Einstein não compreendeu as consequências sobre as concepções geométricas básicas do próprio campo gravitacional. Alguns de seus colegas menos estimados também falharam pelas mesmas razões.

No ano seguinte à proposição da teoria da Relatividade Geral, o astrônomo alemão Karl Schwarzschild é reconhecido por muitos cientistas como a primeira pessoa a conseguir uma solução que previa a existência dos Buracos Negros, dos horizontes de eventos e do raio de Schwarzschild.

Crothres explica que, durante o ano de 1916, Karl Schwarzschild conseguiu publicar, com a ajuda de Einstein, dois artigos: um em janeiro de 1916 comunicando da solução e outro em fevereiro de 1916 tratando da solução exata para um fluido esférico, homogêneo e incompressível.

Na mesma época, paralelamente ao trabalho de Schwarzschild, Johannes Droste conseguiu a exata solução para uma situação de campo de vácuo para uma massa puntiforme e esta solução foi apresentada na Academia Real Holandesa com ajuda de H. A Lorentz. No entanto, devido a uma demora na publicação de seu artigo, Droste ficou sabendo da existência do trabalho de Schwarzschild e adicionou uma nota de rodapé em sua publicação, declarando ciência de seu trabalho.

“Droste antecipou o procedimento matemático que mais tarde levaria a um Buraco Negro e corretamente demonstrou que tal procedimento não era permitido pois ele levaria a uma solução não estática para um problema estático.”. (CROTHERS, 2006, p. 55)

É notório perceber que essa discussão era muito complexa para a época e que muitos cientistas foram envolvidos para chegarem a uma solução. Karl Schwarzschild era portador de uma rara doença de pele e veio a falecer em maio de 1916, porém, as pesquisas e discussões continuaram avançando. No final daquele ano, um grande matemático alemão, David Hilbert, trabalhou de maneira independente e conseguiu chegar à mesma solução que Karl, baseando-se nessas duas ideias e obtendo a famosa solução de Schwarzschild.

Mais tarde, em 1917, outro matemático chamado Hermann-Weyl, partindo das bases de Schwarzschild, conseguiu uma resposta para o campo de vácuo de um corpo puntiforme de maneira muito elegante, chegando à mesma resposta de Droste.

No ano de 1923, Marcel Brillouin obteve uma solução exata a partir de alterações das formas originais de Schwarzschild e conseguiu desenvolver processos matemáticos que descrevem, em teoria, a formação de um Buraco Negro, validando a ideia proposta inicialmente por Droste, que afirmava que nem sempre era necessária uma solução não estática para um problema estático (de um corpo esférico, maciço e com gravidade).

Futuramente, mais precisamente no ano de 1949, através de uma matemática errônea, J. L. Synge, um físico matemático irlandês, conseguiu um significativo progresso na compreensão do campo gravitacional do espaço-tempo.

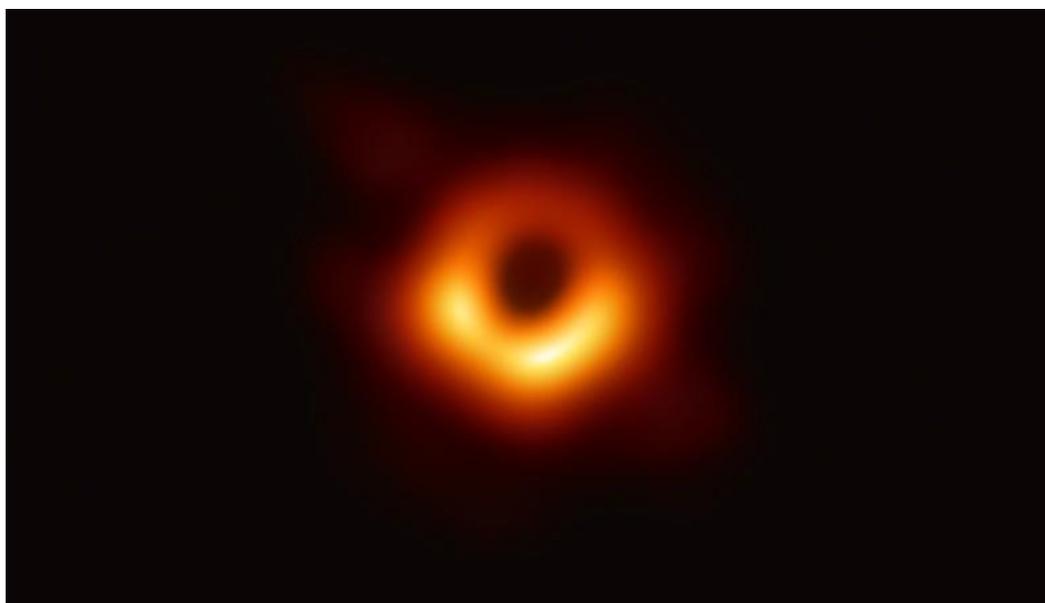
Dez anos depois, M. D. Kruskal e G. Szekeres, ambos pesquisadores independentes, conseguiram estender a solução de Schwarzschild para uma situação de Buracos Negros nascentes. Ao associar esses dois trabalhos, surgiu a equação de “Kruskal-Szekeres”, que fornecia argumentos teóricos suficientes para a justificativa do conceito de Buraco Negro.

Na década seguinte, houve uma grande produção de artigos científicos e livros-textos relacionados à Relatividade Geral. Uma grande parte deles estava dedicada ao estudo dos elementos das teorias dos Buracos Negros e suas classificações e até chegaram a falar sobre a “evaporação” de Buracos Negros, buracos de minhoca e buracos brancos.

Em seu livro “*New Horizons in Astronomy*”, Stephen P. Maran dedica uma seção inteira sobre o questionamento sobre a existência dos Buracos Negros, o que é interessante relatar aqui, pois ainda em 1973, quando este livro foi publicado, e mesmo depois de 57 anos após sua previsão teórica, ainda existiam dúvidas se eles existiam.

Para que o conceito de Buracos Negros fosse cada vez mais explorado, foi necessário haver alguma evidência experimental e, para isso, os equipamentos utilizados nesses experimentos também precisaram ser aprimorados. Assim, em meados de 2019, a equipe que trabalha com a tabulação e análise dos dados do EHT (Telescópio do Horizonte de Eventos) por mais de uma década, conseguiu mostrar ao mundo uma imagem de um Buraco Negro.

A imagem é um compilado de dados e tabulações de acordo com um algoritmo produzido pela cientista Katie Bouman e mostra uma foto que é, com certeza, um grande avanço das fronteiras no estudo dos Buracos Negros.



**Figura 11** – A imagem do Buraco Negro  
Fonte: NASA – Abril 2019

A imagem acima, se refere ao Buraco Negro que se encontra na galáxia longínqua M87. Esse “monstro” possui cerca de 6,5 bilhões de vezes a massa do Sol, que é 1600 vezes maior que o outro alvo do EHT, o Sagitarius A, que é o Buraco Negro que está localizado no centro nossa galáxia.

Da mesma forma, Einstein já tinha previsto teoricamente a existência de ondas gravitacionais, porém, dadas as circunstâncias acima citadas, não era possível fazer essa observação. Finalmente, no ano de 2015, o LIGO (Observatório de Ondas

Gravitacionais por Interferometria a Laser) conseguiu detectar esse fenômeno. Ainda em 2019, o LIGO observou outra onda gravitacional em um fenômeno batizado de GW190521, que teria sido resultado da fusão de dois Buracos Negros com cerca de 85 e 66 vezes a massa do Sol, gerando um Buraco Negro com 142 massas solares, evento este ocorrido quando o Universo tinha aproximadamente metade de sua idade.

Na próxima seção teremos uma discussão sobre quais são os requisitos para que exista a formação de um Buraco Negro, relacionando-os com a formação de estrelas e elencando as potenciais candidatas à formação desses devoradores de luz.

## **3.2 Requisitos**

Para compreendermos melhor a formação dos Buracos Negros, precisaremos, primeiramente, compreender os passos anteriores à origem desses elementos cósmicos. Para isso, discutiremos alguns conceitos relacionados à formação de estrelas, às estrelas em si, suas classificações e organizações e só então, com tudo detalhado, avançaremos para o conceito de Buracos Negros. Utilizaremos aqui diversos livros de diferentes épocas para compararmos a evolução dos conceitos.

### **3.2.1 Formação das estrelas**

As estrelas nascem como protoestrelas nas escuras nuvens de gás e poeira no espaço interestelar. Segundo Peruzzo, Potker e Prado, após essa mistura formada principalmente por hidrogênio e após flutuações de densidade em temperaturas muito baixas, ocorre a agregação de matéria, gerando um campo gravitacional e aumentando a temperatura do núcleo. Então, essa estrela embrionária se forma sendo constituída de uma parte mais quente e densa.

Durante o processo de formação do núcleo, a densidade é fomentada pela contração gravitacional e está relacionada com a mesma forma de geração de energia através de fusão nuclear, como ocorre no Sol, e o processo de aumento de energia ocorre conforme mais massa é adicionada ao núcleo.

Peruzzo, Potker e do Prado afirmam que:

“Chega um momento em que o núcleo atinge uma determinada densidade que faz com que ele consiga suportar a pressão exercida pelas camadas mais externas, sem necessidade de continuar se

contraindo. Neste momento em que o ocorre o equilíbrio, nasce uma protoestrela.” (PERUZZO, POTKER, PRADO, 2014, p. 294)

Durante esse processo descrito acima, é observado que uma estrela começa a rotacionar e ficar levemente achatada nos polos, fazendo com que o material mais próximo do núcleo fique mais protuberante. Essa estrutura é o disco de acreção de uma estrela (utilizaremos esse conceito futuramente nesta dissertação). Neste processo, o núcleo está aumentando a quantidade de radiação (majoritariamente infravermelha) e, durante o aumento de temperatura, é formada a luz visível.

A formação de estrelas pode ser originada de duas formas. No primeiro caso, quando a protoestrela é considerada “pequena” e tem uma massa próxima da do Sol, eventualmente irá agregar toda matéria que está em volta, em seu alcance gravitacional, e os processos de fusão nuclear irão emitir ondas eletromagnéticas dentro do espectro visível. No caso das protoestrelas, cuja massa é pelo menos cinco vezes maior que a massa do Sol, elas evoluem de maneira diferente. O núcleo fica muito quente e brilhante muito antes da matéria ao seu redor realmente estabilizar, pois já existe o processo inicial de fusão nuclear acontecendo e é neste momento em que nasce uma estrela.

No capítulo que se segue, teremos a apresentação de como são classificadas as estrelas de acordo com o seu tamanho, temperatura e luminosidade.

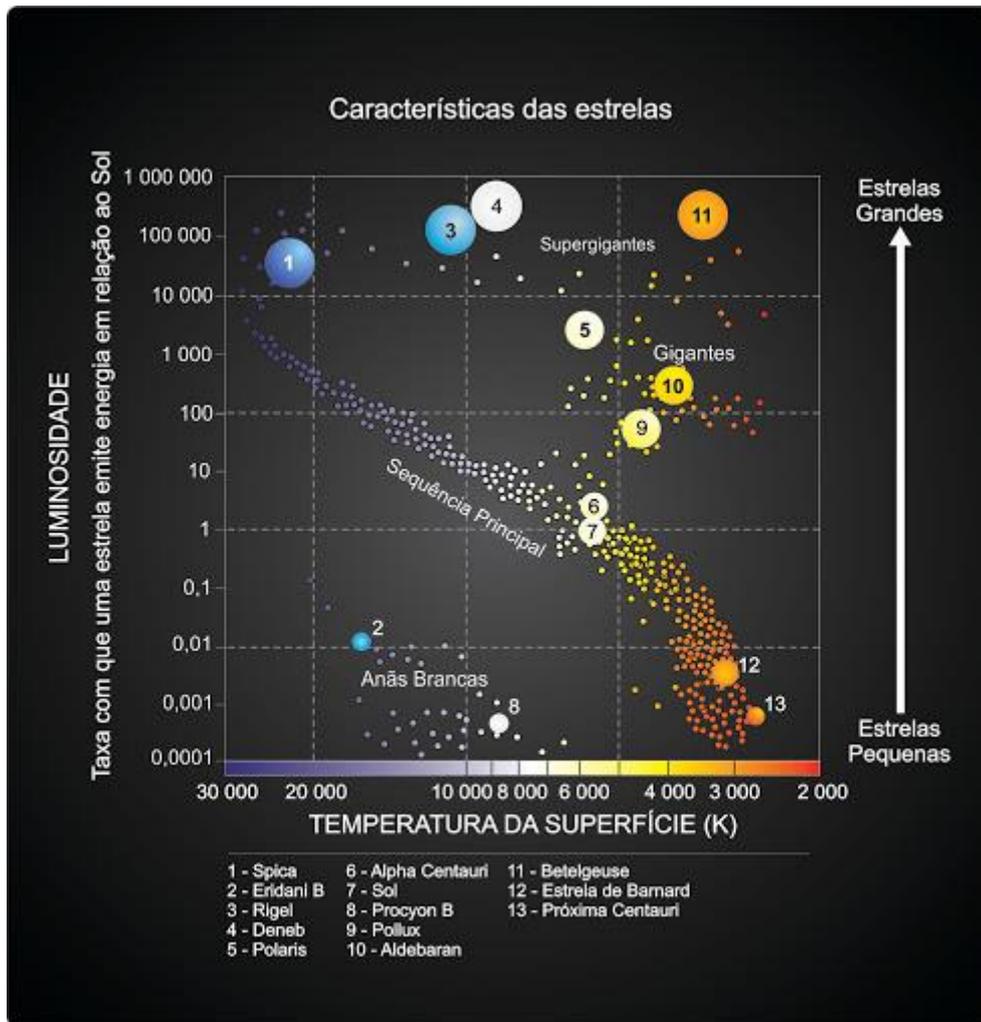
### **3.3 Classificação das Estrelas**

#### **3.3.1 O diagrama de Herzprung-Russel**

Nesta seção, discutiremos basicamente quais são os tipos de estrelas e como elas são classificadas. Os físicos Ejnar Hertzsprung e Henry Russel estabeleceram uma série de critérios para a categorização das estrelas de uma maneira bem clara e objetiva através de um diagrama que chamamos de Diagrama H-R.

“O diagrama H-R é um gráfico de luminosidade  $L$  em função da temperatura efetiva da estrela  $T$  (temperatura da superfície). Neste diagrama a temperatura cresce para a esquerda e a luminosidade para cima. O diagrama H-R é um dos mais importantes recursos para o entendimento do processo de evolução estelar.”. (PERUZZO, POTKER, PRADO, 2014, p. 296)

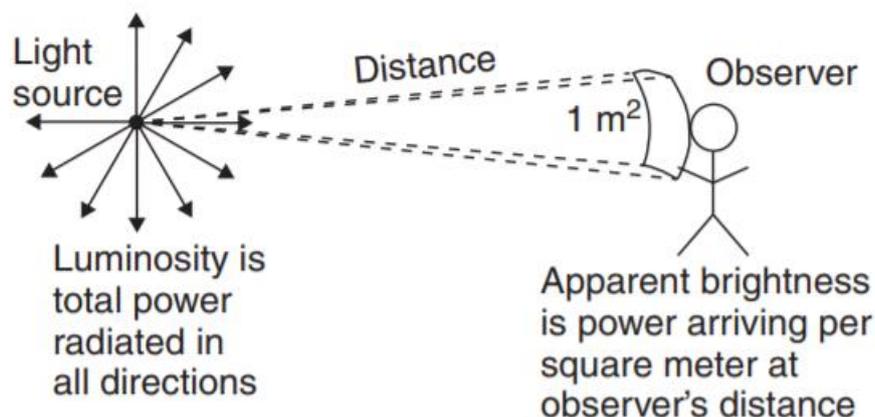
A imagem abaixo ilustra basicamente a maneira com que o diagrama expõe as estrelas em suas diversas categorias alocadas em seus respectivos locais.



**Figura 12** - Diagrama Hertzsprung-Russel  
Fonte: IF-UFRGS.

O Diagrama H-R fornece dados fundamentais para a discussão futura sobre a formação de Buracos Negros, pois precisaremos analisar algumas características principais para verificarmos se uma estrela poderá ou não se tornar um Buraco Negro.

No processo de luminosidade, devemos partir do pressuposto de uma intensidade luminosa por área. A figura abaixo representa de maneira esquemática esse processo:



**Figura 13** - Luminosidade e brilho aparente  
 Fonte: Fleish e Kregenow (2013, p. 138)

Durante estudos realizados por diversos cientistas, foi percebido que existe uma relação matemática entre a distância de uma estrela e sua luminosidade aparente, *lap*, também conhecida como Fluxo e é medida em W ou erg/s:

$$lap = \frac{L}{4\pi(dist)^2}$$

Nesta equação, percebemos que existe uma relação inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a luminosidade “L” emitida pela fonte e a luminosidade observada. Aqui, podemos fazer uma aproximação em que desprezamos a reflexão causada pela luz e a absorção da atmosfera para fins de simplificação.

Hertzsprung e Russel perceberam, também, que existe uma relação entre o tempo de “vida” de uma estrela, seu raio *R*, a sua massa *M* e sua luminosidade aparente *lap*.

Matematicamente, segundo Peruzzo, Potker e Prado, temos que:

$$lap \propto M^4$$

Ou seja, a luminosidade aparente de uma estrela é proporcional à quarta potência de sua massa. E também que:

$$t \propto \frac{E}{lap}$$

Aqui, temos uma representação matemática que mostra que o tempo de vida “t” de uma estela é inversamente proporcional à sua luminosidade aparente.

Do conceito de Energia proposto por Einstein, temos que:

$$E = m \cdot c^2$$

Então:

$$t \propto \frac{1}{M^3}$$

É fácil perceber que o tempo de vida de uma estrela é menor quanto maior for sua massa, pois a razão da queima do seu combustível será maior. E para a sequência principal, temos que o raio é diretamente proporcional à massa de uma estrela:

$$R \propto M$$

A partir das equações acima é possível obter a seguinte expressão para a temperatura “T” da estrela:

$$T = \sqrt[4]{\frac{lap}{4\pi R^2 \sigma}}$$

Em que  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann que vale  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$  e que resulta na relação entre a temperatura “T” e a massa M:

$$T \propto \sqrt{M}$$

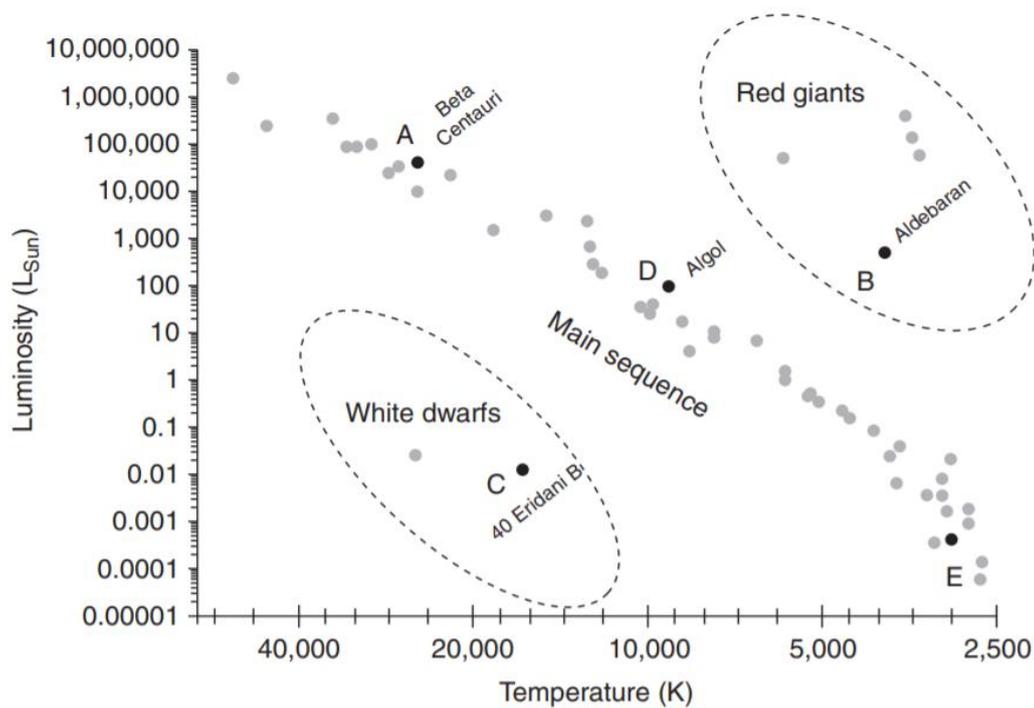
Nesse processo, demonstramos as possíveis relações entre temperatura, luminosidade, massa e raio de uma estrela.

Após os cálculos realizados, temos uma escala de magnitude que está associada ao brilho das estrelas. Esse cálculo foi proposto pelo astrônomo inglês Norman Robert Pogson, que percebeu que existe um fator constante de multiplicação relacionando às magnitudes das estrelas e as classificou de acordo com a tabela abaixo:

Magnitude Aparente	Brilho
$m = 1$	Estrelas mais brilhantes no céu
$m = 2$	Estrelas brilhantes
$m = 3$	Estrelas de médio brilho
$m = 4$	Estrelas Diminutas
$m = 5$	Estrelas muito diminutas
$m = 6$	Estrelas quase invisíveis

**Tabela 01** – Relação entre a magnitude e o brilho

Para analisarmos com mais precisão os dados do diagrama H-R, faremos uma simplificação conforme ilustrada na figura abaixo:



**Figura 14** - Diagrama H-R Simplificado

Fonte: Fleish e Kregenow (2013, p. 150)

Neste diagrama, podemos perceber algumas classificações como anãs brancas, gigantes vermelhas, algumas estrelas destacadas e a sequência principal. Essas classificações mais específicas serão abordadas de maneira mais profunda no decorrer desta dissertação.

Para fazermos a leitura das informações presentes neste diagrama, utilizaremos a tabela abaixo para compreender melhor:

Estrela	Marcação	Temperatura (K)	Luminosidade
Beta Centauri	A	25.000	40.000
Aldebaran	B	4.000	500
40 Eridani B	C	16.000	0.01
Algol	D	9.000	100
Groombridge	E	3.000	0.0004

**Tabela 2** - Relação entre marcações, temperatura e luminosidade.

Ressaltamos aqui que a luminosidade está sendo comparada diretamente com a luminosidade do Sol ( $L_{Sol} = 1$ ).

Existe uma relação entre o tamanho de uma estrela e sua luminosidade, que parte da Lei de Stefan. Esta lei te permite calcular a potência da radiação produzida  $EF$  por metro quadrado da superfície de um corpo emissor desta radiação e é definida como:

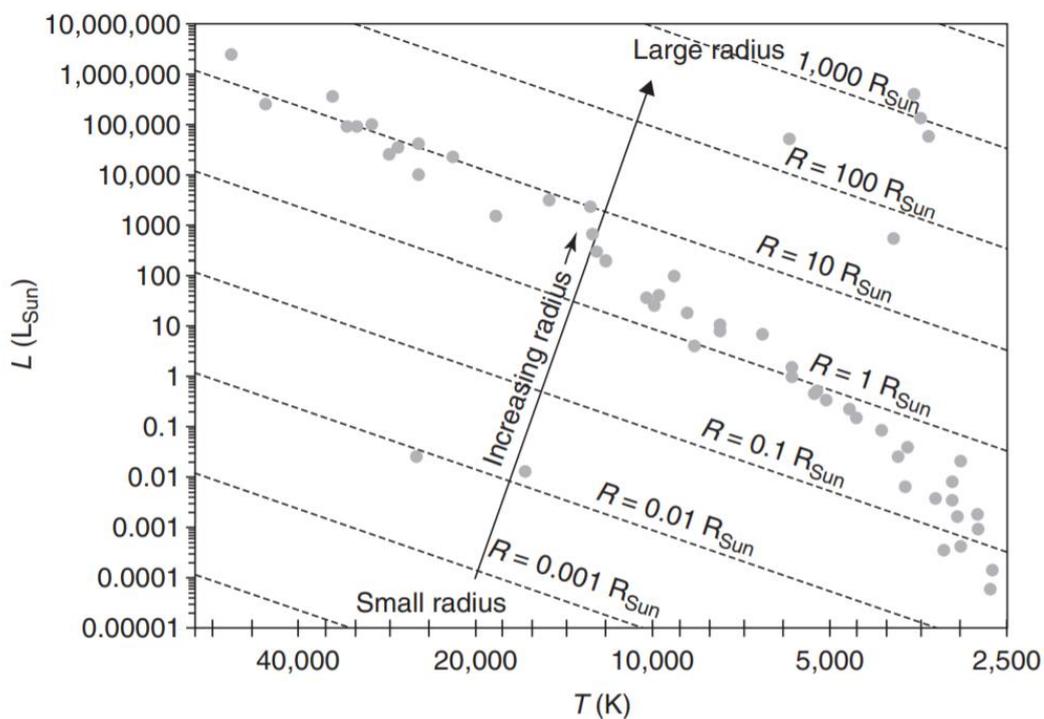
$$EF = \sigma T^4$$

Na equação acima,  $EF$  é o fluxo energético medido em  $W/m^2$  e  $T$  representa a temperatura do corpo em questão medida em Kelvin.

Então, partindo desta equação percebemos que existe uma relação entre o raio de uma estrela com sua luminosidade e sua temperatura. Neste caso, o comportamento pode ser explicado pela expressão matemática abaixo:

$$R^2 \propto \frac{L}{T^4}$$

Para isso, podemos representar um diagrama relacionando os seus raios com suas luminosidades e temperaturas conforme a figura abaixo:



**Figura 15** - Relação Luminosidade-Raio no Diagrama H-R

Fonte: Fleish e Kregenow (2013, p. 157)

A imagem acima descreve de maneira visual a relação entre o raio, a luminosidade e a temperatura de uma estrela e é perceptível que existe uma relação direta entre essas três grandezas. O raio e a luminosidade de uma estrela são diretamente proporcionais, em compensação, o raio e a temperatura já possuem uma relação de proporção inversa.

### 3.3.2 As características estelares – temperatura e luminosidade

Continuando com a nossa classificação, existe agora uma separação classificada por letras: O, B, A, F, G, K, M. Essa separação está relacionada ao tipo espectral da estrela e está diretamente associada à sua temperatura.

A tabela abaixo mostra qual é esta relação:

Tipo Espectral	O	B	A	F	G	K	M
Temperatura	40.000K	20.000K	8.500K	6.500K	5.700K	4.500K	3.200K
Raio (Sol =1)	10	5	1,7	1,3	1,0	0,8	0,3
Massa (Sol=1)	50	10	2,0	1,5	1,0	0,7	0,2
Luminosidade	100.000	10.000	20	4	1,0	0,2	0,01
Tempo de vida (10 <sup>6</sup> anos)	10	100	1.000	3.000	10.000	50.000	200.000
Abundância	0,00003%	0,13%	0,6%	3%	7,6%	12,1%	76,45%

**Tabela 3** - Relação entre tipos espectrais e outras características estelares.

Com a classificação da tabela acima, separaremos as estrelas em três grandes grupos, Anãs brancas, Gigantes, Supergigantes, e dentro deles colocaremos as devidas características através da classificação desenvolvida no Observatório de Harvard, que foi a primeira sequência adotada internacionalmente no ano de 1910 por Annie J. Cannon estão expostas na tabela 4.

Tipo Espectral	Cor	Temperatura superficial (K)	Linhas Proeminentes de Absorção	Exemplos
<b>O</b>	Azul	30.000	He ionizado (fortes) elementos pesados ionizados e fracas linhas de Hidrogênio	
<b>B</b>	Azulada	20.000	He neutro (moderadas) elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel
<b>A</b>	Branca	10.000	He neutro (muito fracas), ionizados, H	Vega Sirius

			(fortes)	
<b>F</b>	Amarelada	7.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus
<b>G</b>	Amarela	6.000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol Alfa Centauri
<b>K</b>	Laranja	4.000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Arcturus Aldebaran
<b>M</b>	Vermelha	3.000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelguese

**Tabela 4** - Comparação de acordo com a classificação das estrelas com elementos químicos.

As estrelas consideradas Anãs brancas, também conhecidas como os restos de uma estrela implodida que “morreu”, surgem de estrelas cujas massas são consideradas medianas ou baixas (aproximadamente 8 vezes a massa do Sol ou menos). Uma Anã branca típica, tem uma massa similar à do Sol, mas o seu tamanho é pouco maior que o da Terra, o que a torna uma estrela cuja densidade é enorme, perdendo apenas para as Estrelas de Nêutrons e os próprios Buracos Negros.

A tabela abaixo elencará suas principais características de maneira mais visual:

<b>ANÃ BRANCA</b>	
<b>Tipo espectral</b>	<b>D</b>
<b>Temperatura Superficial (K)</b>	Abaixo de 80.000K
<b>Raio (<math>R_{\odot}</math>)</b>	Abaixo de 0,01
<b>Massa (<math>M_{\odot}</math>)</b>	Abaixo de 1,4
<b>Luminosidade (<math>W/m^2</math>)</b>	Abaixo de 0,01
<b>“Expectativa de Vida”</b>	-

**Tabela 5** - Características das anãs brancas

Existe uma relação de cálculo para a expectativa de vida das estrelas da sequência principal, porém, como as anãs brancas não fazem parte deste grupo, não é possível utilizar a mesma expressão matemática. Entretanto, algumas teorias de unificação estimam que o tempo de vida de uma anã branca é entre  $10^{30}$  e  $10^{35}$  anos.

Para as estrelas gigantes vermelhas, teremos outras informações que também estarão descritas na tabela abaixo, para que as características estejam representadas de forma mais intuitiva:

<b>GIGANTES VERMELHAS</b>	
<b>Tipo espectral</b>	<b>K e M</b>
<b>Temperatura Superficial (K)</b>	Entre 2500 e 6000
<b>Raio (<math>R_{\odot}</math>)</b>	10 a 100
<b>Massa (<math>M_{\odot}</math>)</b>	Entre 0,5 e 10
<b>Luminosidade (<math>W/m^2</math>)</b>	Entre 100 e 1000
<b>“Expectativa de Vida”</b>	$10^6$ anos

**Tabela 6** - Características das gigantes vermelhas.

As gigantes vermelhas fazem parte de um grupo específico de estrelas que já estão em sua fase final de vida, ou seja, seu tempo de vida é bem menor comparado ao de uma estrela que se encontra na sequência principal.

As estrelas supergigantes se encaixam em outra categoria dentro do Diagrama H-R e possuem as seguintes características: Dado:  $M_{\odot}$  e  $R_{\odot}$  são informações relacionadas ao Sol.  $M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} kg$  e  $R_{\odot} = 6,95 \times 10^8 m$

<b>SUPERGIGANTES</b>	
<b>Tipo espectral</b>	<b>O e B</b>
<b>Temperatura Superficial (K)</b>	Entre 3000 a 50000
<b>Raio (<math>R_{\odot}</math>)</b>	1000
<b>Massa (<math>M_{\odot}</math>)</b>	Entre 8 a 70
<b>Luminosidade (<math>W/m^2</math>)</b>	Entre 100.000 e 1.000.000
<b>“Expectativa de Vida”</b>	$10^6$ anos

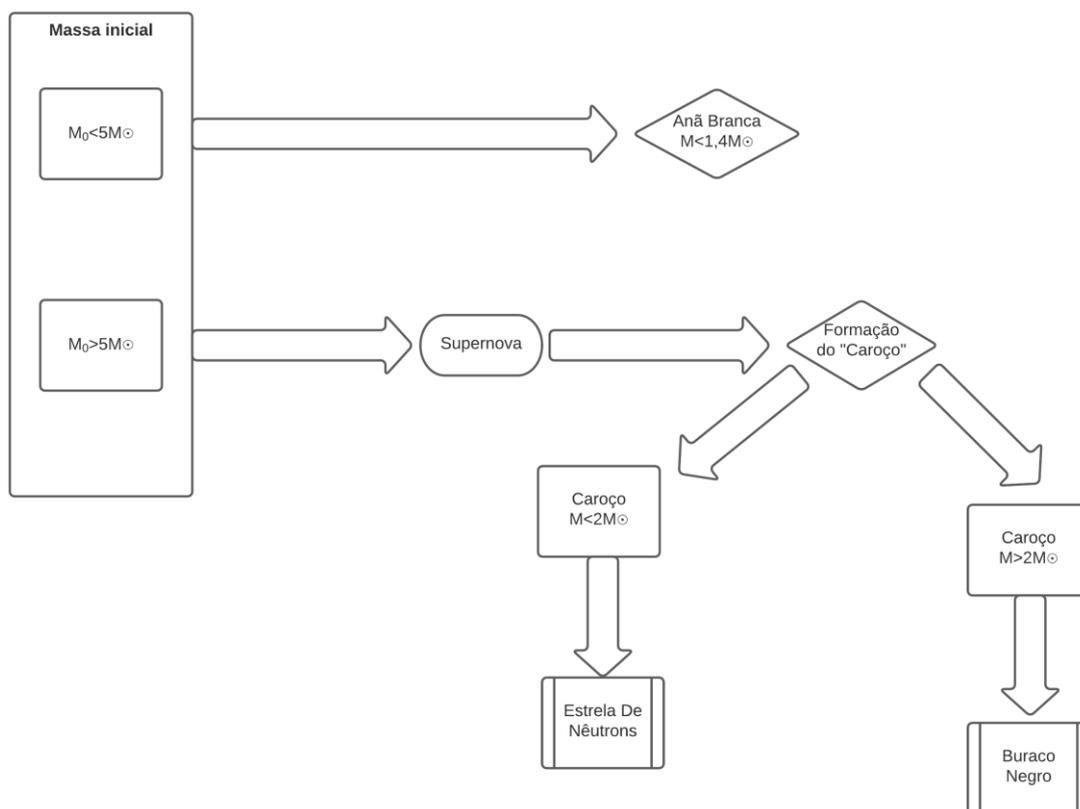
**Tabela 7** - Características das estrelas supergigantes.

No caso das supergigantes, é visível que devido à sua massa ser muito maior do que a do Sol, sua fase estável é bem menor do que a das estrelas menores.

### 3.4 A formação dos Buracos Negros.

Para que exista a formação de um Buraco Negro, precisamos compreender que alguns requisitos devem ser cumpridos.

De acordo com Bergmann (2017), precisamos assumir a fase vermelha de uma estrela e, a partir deste momento, podemos ter três possibilidades. O organograma abaixo ilustrará a relação entre as massas iniciais das estrelas e os seus destinos, definindo três percursos diferentes de evolução:



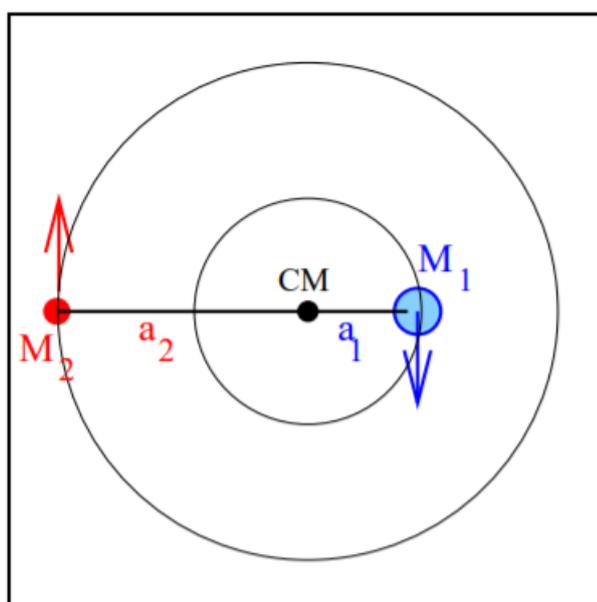
**Figura 16** - Esquema simplificado da formação dos Buracos Negros  
Fonte: Imagem de autoria própria.

Basicamente, para que exista a formação de um Buraco Negro, a massa de uma estrela em sua fase vermelha deve ser pelo menos 5 vezes maior que massa do nosso Sol e que, após se transformar em supernova, ainda reste um resíduo cuja massa é de  $2M_{\odot}$ . Caso a supernova não forneça um caroço, a matéria da estrela servirá de matéria prima para a geração de novas estrelas através de uma nebulosa.

### 3.5 A observação dos Buracos Negros

Quando falamos sobre a observação dos Buracos Negros, primeiramente devemos observar um sistema de estrelas binário, que é um sistema composto por duas estrelas rotacionando em torno de um centro de massa. Este movimento pode ser confirmado pelas alterações nas cores utilizando o Efeito Doppler. Caso as duas Estrelas em questão estejam visíveis, nenhuma delas pode ser um Buraco Negro. Então, devemos focar em sistemas em que apenas uma estrela é visível até mesmo pelos telescópios mais sensíveis.

A figura abaixo irá representar de maneira simplificada um sistema binário:



**Figura 17** - Representação simplificada de um sistema binário  
Fonte: If-UFRGS

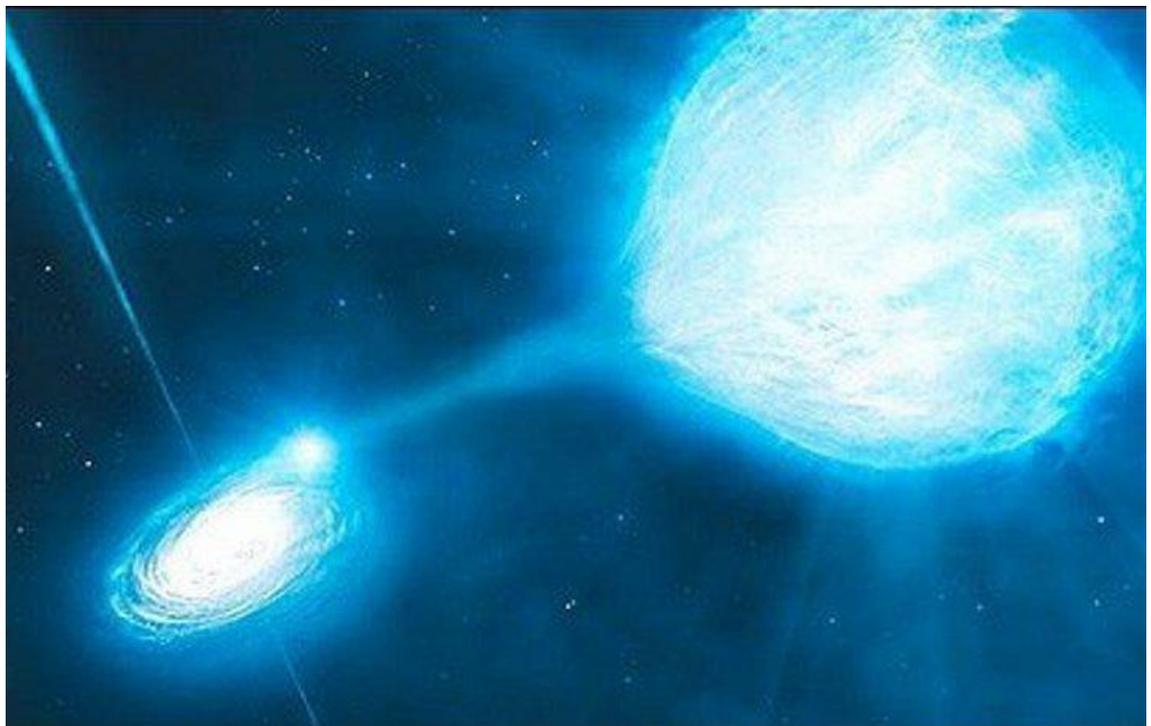
Para que possamos prever a evidência da existência de um Buraco Negro, as observações feitas precisam constatar que o objeto invisível em questão tem uma massa muito grande para ser uma estrela de nêutrons. Durante a estimativa dos cálculos deste sistema binário, caso a “estrela invisível” tenha uma massa superior a 5 vezes a massa do Sol, poderemos ter um Buraco Negro. Então teremos fortes evidências de que estamos “enxergando” um Buraco Negro. Vale ressaltar que para que tenhamos esta confirmação, precisamos ter certeza de que o objeto em questão é uma estrela colapsada.

Quando o processo descrito acima é verificado, de acordo com Fraknoi, Morrisson e Wolff (2013), temos a seguinte situação:

“Se a matéria cai em direção a um objeto compacto de alta gravidade, o material é acelerado a altas velocidades. Próximo do horizonte de eventos de um Buraco Negro, a matéria está se movendo com velocidades próximas da velocidade da luz. Enquanto os átomos caem caoticamente em direção ao horizonte de eventos, eles colidem uns contra os outros e consequentemente esta fricção pode aquecê-los a temperaturas superiores a 100 milhões de Kelvin. A matéria nesta temperatura emite radiação em forma de Raios-X tremeluzentes.”

Durante este processo, existe a formação de um disco de acreção, que é um disco de gás e poeira estelar que são descobertos orbitando estrelas “recém-nascidas”, bem como sobras estelares compactas como anãs brancas, estrelas de nêutrons e Buracos Negros.

A imagem abaixo é uma representação artística de uma estrela sendo “engolida” por um Buraco Negro e tem seu disco de acreção representado de maneira coerente.



**Figura 18** - Representação de um Buraco Negro engolindo uma estrela.  
Fonte: site do IF- UFRGS

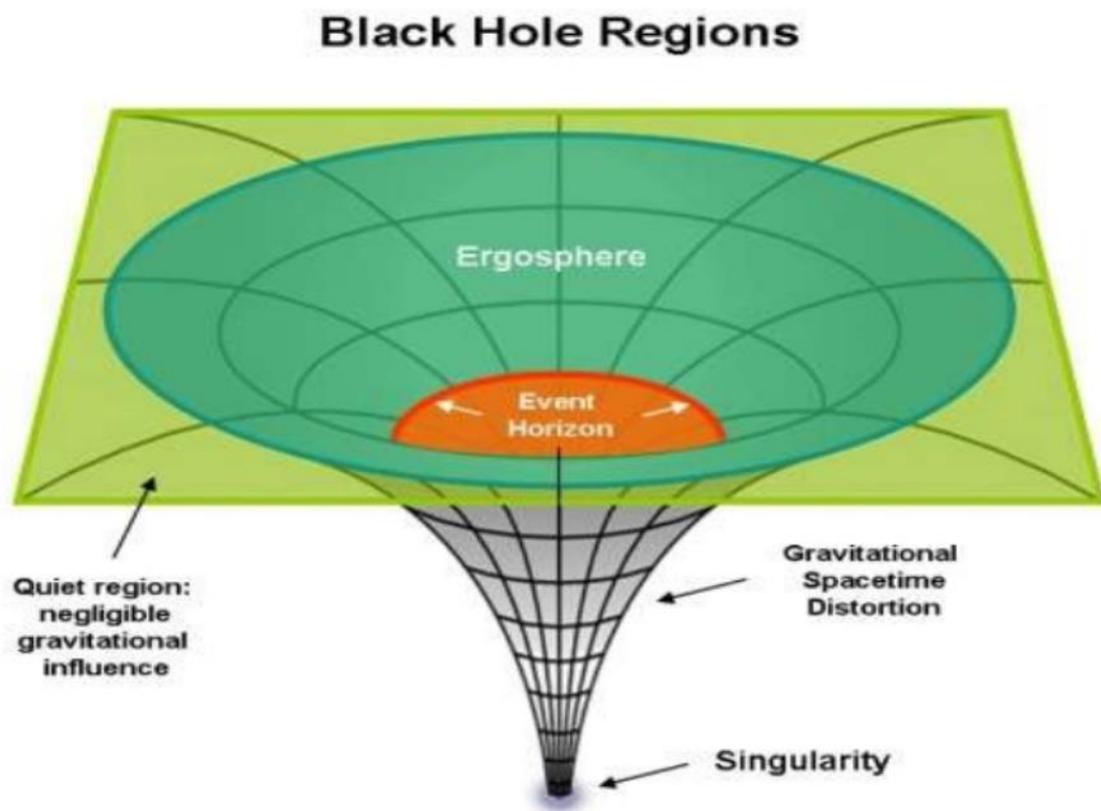
Após a compreensão do processo de análise dos Raios-X, astrônomos conseguiram constatar a existência de um Buraco Negro na Via Láctea. Este Buraco Negro foi batizado como Cygnus X-1 e assume-se que ele tenha cerca de 15 vezes a

massa do Sol, pois a estrela que o orbita é classificada como O, que, de acordo com a tabela 7, possui entre 8 e 70 vezes a massa do Sol.

Na próxima subseção, falaremos um pouco sobre a estrutura de um Buraco Negro de maneira simplificada para que possamos nos aprofundar ainda mais sobre a nomenclatura científica utilizada.

### 3.6 A estrutura de um Buraco Negro.

Para nos aprofundarmos um pouco mais no assunto, e estarmos aptos a responder os questionamentos dos estudantes, precisamos compreender como um Buraco Negro está dividido segundo Fraknoi, Morisson e Wolff (2013), ou seja, suas estruturas básicas. Analisaremos a imagem abaixo que está em língua inglesa, porém, discutiremos cada região na sequência.



**Figura 19** - Regiões de um Buraco Negro.  
Fonte: Forbes

Iniciaremos nossa análise da parte externa para a interna para que os conceitos fiquem organizados como se estivéssemos ensinando para os estudantes o caminho percorrido por um feixe de luz que está indo em direção a um Buraco Negro.

Na cor verde clara, estamos falando de uma região que é conhecida como a região “quieta”, ou seja, uma região em que os efeitos gravitacionais gerados pela massa do Buraco Negro são considerados desprezíveis ou negligenciáveis, pois o comportamento da luz, por exemplo, não é modificado o suficiente para produzir “anomalias” consideradas relevantes, porém, é onde o disco de acreção se forma. O disco de acreção, segundo Bergmann:

“[...] consiste de gás ionizado ou plasma, formado principalmente por núcleos de hidrogênio e elétrons. A viscosidade deste gás permite que o momento angular seja transferido para fora e que a matéria do disco vá aos poucos se movendo em direção ao centro.”.

A Ergosfera é uma nomenclatura que se dá para a região que é “arrastada” pela combinação da deformação do espaço-tempo e da rotação de um Buraco Negro simultaneamente, logo, essa estrutura não estará presente em Buracos Negros classificados como estáticos.

Quando a luz ou qualquer outro objeto chega à terceira parte de um Buraco Negro, chamada de horizonte de eventos (HE), também conhecido como ponto de não retorno, o objeto não consegue mais escapar do campo gravitacional gerado pelo Buraco Negro. De maneira muito simples, que diversos livros didáticos escrevem de maneira muito parecida, o horizonte de eventos é o limiar da separação entre uma região em que ainda existe uma possibilidade de um objeto escapar ou ser engolido, cuja fronteira é determinada pelo Raio de Schwarzschild. Por exemplo, o horizonte de eventos do Sol, caso o transformássemos em um Buraco Negro, seria de aproximadamente 3km e esta medida está diretamente ligada à sua massa.

O cálculo do Raio de Schwarzschild, baseando-se nas ideias newtonianas, é bem simples e se deriva da equação:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Neste caso, para que possamos determinar o Raio de Schwarzschild, em metros, precisaremos apenas fazer alguns ajustes. Consideraremos a definição principal do

Buraco Negro como uma região no espaço em que nem mesmo a luz consegue escapar, que um dos postulados da teoria da relatividade de Einstein diz que a velocidade da luz “ $c$ ” é a velocidade limite do universo e, isolando o valor de  $R$ , chegaremos à seguinte expressão de acordo com a física newtoniana:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Para fazermos a dedução, segundo Schwarzschild, recomenda-se a leitura do trabalho de graduação do estudante Luís Felipe de Oliveira Magalhães (2015) denominado *Soluções de Buracos Negros na Relatividade Geral* que demonstra de maneira bem clara e precisa as soluções para os Buracos Negros utilizando o formalismo matemático adequado para a compreensão dessas soluções. Voltamos a ressaltar que em muitos cursos de graduação, essas equações sequer são apresentadas aos estudantes, então, fica a cargo do leitor verificar a necessidade de leitura deste trabalho.

E, por fim, chegamos ao ponto mais curioso do Buraco Negro: a singularidade. Esse elemento é definido pelos astrônomos como um local que possui massa infinita em volume zero, em que todo objeto que se torna um Buraco Negro precisa colapsar de acordo com a Teoria da Relatividade Geral.

Vemos que os conceitos chave em si não são complexos, porém, se formos verificar todas estas informações com maior profundidade, perceberemos que as leis físicas e matemáticas envolvidas no processo de construção conceitual destes termos são bem abstratos e seria necessário um estudo sobre isso de maneira exclusiva.

Finalizamos aqui uma análise sobre a estrutura básica de um Buraco Negro e na próxima subseção abordaremos a classificação dos Buracos Negros de acordo com suas características.

### **3.7 Classificação dos Buracos Negros.**

Atualmente existem basicamente duas classificações distintas para os Buracos Negros, uma versa sobre a massa desses corpos e outra sobre outras características como a existência ou não de rotação e cargas.

A maneira mais simples de se classificar os Buracos Negros é organizá-los de acordo com sua massa e, nessa classificação, teremos os Buracos Negros estelares, os

Buracos Negros supermassivos e os Buracos Negros de massa intermediária. Nos parágrafos abaixo, iremos discorrer brevemente sobre cada um deles e quais são suas características.

Os Buracos Negros estelares são considerados os mais simples e são encontrados normalmente em sistemas binários em que os telescópios captam as variações nos comprimentos de onda e estudam as mudanças de cores através do Efeito Doppler. Seu surgimento se dá quando uma estrela cuja massa de aproximadamente  $10M_{\odot}$  passa por todos os estágios evolutivos da sequência principal e quando seu “combustível” acaba e ocorre uma supernova.

Os Buracos Negros supermassivos estão localizados normalmente no centro de galáxias e, segundo Bergmann:

“Os Buracos Negros Supermassivos podem ter sido originados do colapso gravitacional de imensas nuvens de gás ou de aglomerados de milhões de estrelas no centro das galáxias, que se formaram quando o universo era mais jovem e bem mais denso.”.

Astrônomos estimam que a idade desses Buracos Negros gira em torno de 13,7 bilhões de anos, ou seja, sua formação se deu quando o universo tinha menos de 1 bilhão de anos.

Os Buracos Negros de massa intermediária, ou seja, aqueles cujas massas são da ordem de milhares de vezes maiores que a massa do Sol, são os mais enigmáticos até então, pois, tratando-se da magnitude das massas, existe um abismo entre as massas dos Buracos Negros estelares cujas massas são em média dezenas de vezes maiores que a do Sol e os supermassivos, cujas massas estão entre milhões e bilhões de vezes a massa solar.

As observações sugerem que no Aglomerado Globular Ômega Centauri existe um Buraco Negro de massa intermediária, pois a luminosidade emitida por essa galáxia é muito alta para ser um Buraco Negro estelar e é pouco luminosa para ser um Buraco Negro supermassivo.

Resta-nos ainda discutir sobre a classificação dos Buracos Negros com relação à sua rotação e carga. Iniciamos este breve processo de análise com o modelo mais simples, conhecido como Buraco Negro de Schwarzschild. Este modelo teve sua existência prevista no ano de 1915 logo após Albert Einstein ter apresentado a Teoria

Geral da Relatividade e ele é encaixado nesta categoria por não possuir rotação e nem carga.

A métrica de Schwarzschild é colocada da seguinte maneira:

$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2$$

Em que  $G$  é a constante gravitacional,  $M$  é a massa do objeto analisado e a equação abaixo corresponde a um ângulo sólido.

$$d\Omega^2 = d\theta^2 + \text{sen}^2\theta d\varphi^2$$

Ao fazermos aproximações de  $M \rightarrow 0$  ou  $r \rightarrow \infty$ , chegaremos à métrica de Minkowski, dada pela equação:

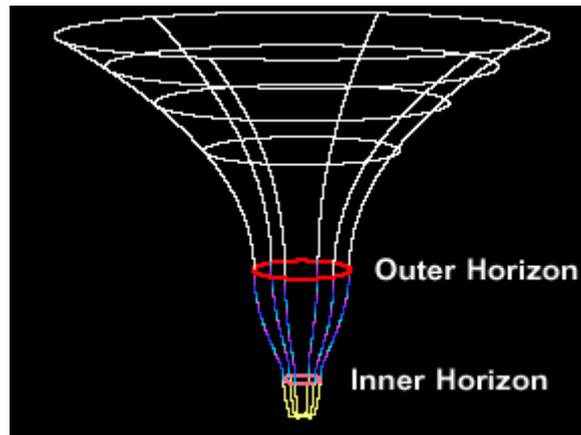
$$ds^2 = c^2 dt^2 - dr^2 - r^2 d\Omega^2$$

O segundo modelo, conhecido como o Modelo de Kerr, Valles e Salleras, em seu artigo denominado *Limitations on the Penrose Process*, leva em consideração a rotação de um Buraco Negro e também é uma das soluções das equações de campo de Einstein. Neste caso, a deformação do espaço tempo se assemelha a um espiral, o que faz com que seu horizonte de eventos seja determinado pela seguinte equação:

$$R = \frac{R_{Sch}}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{J_c}{GM^2}\right)^2} \right]$$

Neste caso, as grandezas envolvidas são massa, momento angular e carga, representados pelas letras  $M, J$  respectivamente.

O terceiro tipo de Buraco Negro é conhecido como o modelo de Reissner-Nordstörn, cuja principal característica é a presença de cargas. Se um Buraco Negro possui uma carga menor que sua massa em unidades geométricas, então esta geometria nos oferta dois horizontes, um mais externo e um mais interno, e a conexão entre estes dois pontos é feita de maneira semelhante a uma cascata ou cachoeira, conforme demonstrado na figura abaixo:



**Figura 20** - A separação dos horizontes de eventos.  
Fonte: Colorado.edu

Para mais informações a respeito da métrica e das equações sobre esse modelo de Buraco Negro, sugerimos de leitura do artigo “*Singularities in Reissner-Nordstörn Black Holes*” de Chesler, Narayan e Curiel publicado em 2019.

Para finalizarmos com o último modelo, o de Kerr-Newman, estes são Buracos Negros que possuem rotação e carga e, dada a sua complexidade, foi o último a ser teorizado. Begelman afirma que, devido ao Buraco Negro ter grandezas associadas ao momento angular e a sua grande quantidade de carga, temos a formação de um campo magnético muito intenso e pode haver uma grande ruptura no horizonte de eventos em que existe expulsão de fótons em forma de raios gama.

Dadas as colocações desta seção, essa base teórica toda permitiu a criação do produto educacional com conteúdo próximo às descobertas sobre o tema e explicações de boa qualidade. É importante, em algum momento, levantar a questão de que os estudantes são curiosos sobre o tema e trazem perguntas à sala de aula, pois ouvem nas mídias os avanços científicos, e até mesmo veem esses temas na ficção, porém, tratados de maneira mais superficial e, às vezes, não tão cientificamente corretos. Esses elementos nos ajudaram na criação do produto educacional, que será apresentado no próximo capítulo.

## **4 CRIAÇÃO DO PRODUTO**

O produto educacional abaixo foi criado com o intuito de ajudar os estudantes a compreenderem de maneira mais clara o processo de surgimento de um Buraco Negro e temas correlatos da astronomia. Alguns fatores foram decisivos como, por exemplo, a deficiência de abordagem dos conteúdos de astronomia pelas escolas e, em contrapartida, o grande interesse dos estudantes quando discutimos os tópicos relacionados ao universo. A subseção abaixo explicará um pouco melhor o problema no ensino de astronomia.

### **4.1 Problemas no Ensino de Astronomia.**

Devemos aqui relatar também um breve estudo sobre os problemas e preocupações relacionados ao ensino de astronomia no Brasil, que já foram elencados por outros autores e pesquisadores, no sentido de informar aos demais pesquisadores quais são essas preocupações e como elas aparecem no cotidiano das escolas.

Dirceu Ferreira e Fernanda Aparecida Meglhioratti (2008) fizeram um levantamento muito interessante ao realizarem uma análise do Encontro Nacional no Ensino de Ciências e foi possível perceber que existem duas grandes vertentes que apontam na mesma direção, porém, apresentam escopos diferentes, ou seja, um deles são os problemas percebidos e que estão relacionados à formação dos docentes e o outro está relacionado à compreensão e entendimento do aluno.

Após analisar o documento escrito por eles, foram ressaltados onze tópicos associados à formação dos professores, dos quais citaremos alguns abaixo:

- i) Concepções alternativas sobre conteúdos de astronomia;
- ii) Atividades rotineiras e sem reflexão, motivadas pela falta de formação adequada;
- iii) A existência de poucos recursos disponíveis para auxiliar o professor nas suas atividades didáticas;
- iv) Falta de uma legislação específica na formação de professores, referentes aos conteúdos de astronomia;
- v) Deficiência na contextualização histórica dos principais eventos relacionados à astronomia;
- vi) Livros didáticos com distorções conceituais nas descrições e ilustrações;
- vii) Conceitos científicos e pessoais parecem misturar-se nas atividades desenvolvidas em sala.

Todos esses elementos interferem de maneira negativa no aprendizado do aluno, sabendo-se que, uma vez que se aprende um novo conteúdo de maneira errada, para que seja possível reorganizá-lo, o trabalho será muito mais árduo. Um dos fatores mais preocupantes está descrito no item (iv), pois se um professor não recebe uma formação adequada, como esperamos que ele consiga ensinar de maneira correta determinado conteúdo? Some a isso os erros muitas vezes colossais em livros didáticos fornecidos aos estudantes e as atividades repetitivas e sem significado para os alunos e nós temos o cenário do ensino de física e da aprendizagem significativa sendo obliterado.

Novamente não podemos atribuir o problema apenas aos professores. Com relação aos alunos, segundo Ferreira e Meglhioratti, existem duas importantes questões a serem consideradas:

- i) Dificuldades em alunos da educação básica para entender a esfericidade da Terra, para conduzir um modelo próximo ao aceito pela ciência em relação aos ciclos dos dias e das noites, bem como as estações do ano, entre outras dificuldades conceituais;
- ii) Alunos de curso superior em física apresentam dificuldades em conceituar corretamente planeta, estrela, gravidade, dimensões celestes, entre outros conceitos.

No primeiro tópico, vemos que existe uma lacuna na aprendizagem que provavelmente vem de uma base fraca durante a vida escolar (ressaltamos aqui que boa parte dos conteúdos básicos de astronomia não são ensinados por professores devidamente capacitados) e isso influencia gravemente no processo de aquisição de conhecimento até o fim do ciclo escolar.

O segundo tópico já remete ao tópico (iv), no escopo dos professores. Mesmo durante a graduação, os conceitos básicos de astronomia não possuem uma abordagem com a profundidade necessária para que os tópicos (i), (v), (vi), e (vii) deixem de ocorrer com tanta frequência e, conseqüentemente, contribuam para a ineficiência do ensino e para a defasagem na aprendizagem dos alunos.

Quando fazemos a leitura dos documentos oficiais nacionais e distritais, percebemos que a astronomia não é tão relevante no Ensino Médio. De acordo com os PCN+, a astronomia deve estar inserida em contextos com a física, geologia e possivelmente a biologia quando o assunto for Astrobiologia, mas ao desmembrar esses conteúdos, foi possível perceber que a repetição dos conteúdos voltados para os exames externos continua.

Nesta colocação, podemos perceber que é mantida a ideia de que o primeiro ano do Ensino Médio deve ensinar Gravitação Universal, Leis de Kepler e Satélites, e somente no terceiro ano os estudantes verão algo relacionado à Cosmologia. Há ainda a concepção de que os estudos levianos e superficiais são suficientes.

Tendo em vista todas essas informações acima citadas, podemos prosseguir com uma melhor orientação para as próximas seções desta dissertação. Nos próximos capítulos, faremos uma descrição geral de como as duas UEPS foram aplicadas no contexto pré-pandêmico e durante a pandemia com a segunda aplicação de maneira online.

A UEPS consiste em uma sequência didática que foi preparada com intuito de buscar evidências da aprendizagem significativa nos estudantes utilizando ferramentas que propiciem a construção do conhecimento cientificamente correta.

Foram utilizados materiais como: sondagem inicial, slides, vídeos e um jogo criado para que os estudantes pudessem percorrer os aspectos sequenciais definidos por Moreira e uma sondagem final para a verificação da existência ou não de indícios da aprendizagem significativa nos estudantes.

## **4.2 As conexões entre o produto educacional, em sua primeira aplicação, com o referencial teórico.**

A primeira aplicação do produto educacional foi realizada em na escola CED 16 da rede pública de ensino do Distrito Federal. A escola possui dois pavimentos com 13 salas de aula e a capacidade de atendimento de 450 alunos por turno. Possui acessibilidade para estudantes com mobilidade reduzida no primeiro pavimento para suprir as necessidades como bebedouros e banheiros adaptados. Existem áreas destinadas à coordenação pedagógica, ao Atendimento Educacional Especializado – AEE, biblioteca, sala dos professores, sala de coordenação pedagógica, duas quadras cobertas, sala de informática/vídeo, secretaria, sala de gestão, sala do administrativo, cantina, refeitório, pátio e estacionamento para funcionários e alunos.

A escola se localiza em área de grande vulnerabilidade social indicada pelo Governo do Distrito Federal e atende estudantes dos anos finais do Ensino Fundamental até o Ensino Médio.

Para que uma sequência didática que será proposta em forma de UEPS seja aplicada com êxito, Moreira (2011) estabelece uma série de aspectos sequenciais que devemos seguir. Tendo em vista esses aspectos e o tema Buracos Negros, seguimos escrevendo sobre como esses passos, previamente estabelecidos pelo referencial teórico adotado nesta pesquisa, estão vinculados em nossas aulas.

### **Aspectos Sequenciais:**

**1. Atividades iniciais:** No primeiro momento, aplicamos um questionário constituído de cinco questões (sondagem inicial), cujo intuito era verificar a presença de subsunçores (desde os mais básicos partindo da astronomia até os mais complexos já no contexto dos Buracos Negros) para que fosse possível ter uma leitura confiável dos dados levantados sobre esses conceitos e verificarmos a existência das ideias-âncoras. Vale ressaltar aqui que ao término da aplicação da sequência didática, os estudantes fizeram uma sondagem final para compararmos o questionário inicial com o questionário final a fim de verificarmos as progressões desses estudantes, buscando conferir se houve ou não evidências da Aprendizagem Significativa.

**2. Situação-problema inicial:** Primeiramente, os estudantes foram indagados a respeito de conhecimentos básicos de astronomia para confrontar com os resultados da sondagem inicial. Em um segundo momento, os estudantes foram

questionados a respeito das origens dos Buracos Negros e sua formação. Neste momento, em ambas as turmas, se verificou que apenas poucos alunos tinham algumas poucas ideias sobre esse tema. Começamos então a discutir brevemente sobre as origens do universo, sendo também solicitado aos estudantes que neste momento deixassem as crenças religiosas de lado por um momento (aqueles que tinham uma fé) e analisassem as situações científicas que estávamos observando. Em seguida, foi mostrada uma imagem de uma nebulosa e a discussão se estendeu até chegarmos ao contexto de estrelas e sua formação.

**3. Aprofundamento de conhecimentos:** Depois de consolidar o conceito de formação de estrelas através da situação-problema inicial, precisaríamos continuar aprofundando os estudos sobre as características das estrelas através da apresentação do diagrama H-R. Aqui, os estudantes começaram a fazer novas conexões com os conceitos já aprendidos para verificar que de um subsunçor pré-existente (estrela) poderiam se derivar novos conhecimentos como luminosidade, temperatura, massa e tamanho.

A partir deste momento, temos um novo conjunto de conceitos que são utilizados para expandir o conhecimento dos estudantes, de modo que pudessem perceber que nem todas as estrelas viram um Buraco Negro, ou seja, para que isso aconteça, é necessário que a estrela em questão esteja com condições favoráveis tal que, durante o seu processo de supernova, consiga ter massa suficiente para se tornar um Buraco Negro.

**4. Nova situação-problema em nível mais alto de complexidade:** Após estabelecer de maneira correta os conceitos, avançamos agora para o estudo dos Buracos Negros, que envolvem um grau mais alto de complexidade. Os estudantes devem nesse momento perceber quais são as grandezas físicas relevantes para estimar se uma estrela pode ou não virar Buraco Negro.

Em seguida, temos também um grande avanço no que se trata da complexidade dos novos conceitos envolvidos como singularidade, horizonte de eventos e o disco de acreção, por exemplo. Nesta situação, o nível de abstração é significativamente mais elevado e requer que os estudantes consigam pensar de maneira mais imaterial, o que exige mais dos alunos quando relacionamos os aspectos filosóficos e físicos envolvidos nesse processo.

**5. Reconciliação dos conceitos:** ao final dos encontros, após abordarmos todos os assuntos, fizemos uma recapitulação através dos slides para verificar como os novos conceitos foram aprendidos e se estão se relacionando de maneira correta.

**6. Encontro final:** Basicamente, neste encontro, tivemos uma sessão de *feedbacks* com os estudantes, quando fizeram apontamentos positivos e negativos (majoritariamente construtivos) para o aprimoramento do produto educacional.

**7. Avaliação – Sondagem final e mapas conceituais finais:** Neste momento tivemos a aplicação da sondagem final (pós-teste).

**8. Avaliação da UEPS:** Nessa etapa, reconhecemos o quão efetivo foi o aprendizado dos estudantes em geral e percebemos que, apesar de vários pontos positivos, houve poucos indícios de aprendizagem significativa. Surgiu, então, a necessidade da mudança de alguns recursos didáticos e/ou metodologia da sequência didática. Soma-se a isso a mudança de orientação ao longo do Mestrado, que trouxe novos elementos para o aprimoramento do produto educacional. Assim, após algumas alterações do mesmo, realizamos uma segunda aplicação.

Para o desenvolvimento dos conceitos envolvidos nessa primeira aplicação da sequência didática, o conteúdo foi dividido da seguinte maneira:

1. *A formação de estrelas;*
2. *O diagrama de Hertzsprung-Russel;*
3. *Buracos Negros – Uma descoberta;*
4. *A Estrutura dos Buracos Negros;*
5. *Os tipos de Buracos Negros.*

Então, para a evolução dos conceitos envolvidos no estudo do tema de Buracos Negros, faz-se necessário uma abordagem prévia sobre estrelas e suas classificações para depois aprofundamos nos conteúdos específicos da astronomia através do processo de diferenciação progressiva e da reconciliação integradora.

#### **4.3 Ferramentas utilizadas na construção da primeira aplicação da UEPS.**

Para a primeira aplicação, que foi realizada de maneira presencial, as ferramentas utilizadas foram:

<b>Encontro</b>	<b>Materiais/Ferramentas Utilizadas</b>	<b>Justificativa.</b>
01	Quadro branco e pincel – Avaliação em forma de sondagem inicial	Como tivemos um momento de apresentação do estudo, fizemos uma breve explicação sobre o que era o projeto e quais eram suas intenções. Aplicamos, também, uma sondagem inicial para conhecermos melhor a turma e seu entendimento sobre astronomia.
02	Kit multimídia – Apresentação de slides sobre a formação de estrelas	A relevância deste tema é construir uma base para a construção da sequência didática tendo em vista que a formação dos Buracos Negros depende do conceito de estrela.
03	Kit multimídia – Apresentação de Slides sobre o Diagrama de Hertzsprung-Russel + papel e caneta para os estudantes participarem do jogo	Mostramos aqui para os estudantes, de uma maneira visual e lúdica, como classificamos as estrelas
04	Kit multimídia – Apresentação do episódio sobre Buracos Negros do Documentário “O	Quando apresentamos o documentário, tivemos a intenção de mostrar aos estudantes que existem

	Universo” do canal “ <i>The History Channel</i> ” e os slides autorais que compõem esta sequência didática com uma abordagem introdutória sobre o conceito de Buracos Negros.	meios que auxiliam o letramento científico além dos conhecidos em sala de aula.
05	Kit multimídia – Slides autorais sobre a estrutura de um Buraco Negro	Aprofundamos aqui o conhecimento relacionados aos Buracos Negros
06	Kit multimídia – slides autorais sobre a classificação dos Buracos Negros	Para finalizar a parte conceitual da sequência didática, fizemos a última aula expositiva para que mostrássemos aos estudantes como os Buracos Negros eram classificados.
07	Sondagem final	Este encontro teve o intuito de fazer a verificação dos indícios de aprendizagem significativa por parte dos estudantes através de um pequeno teste que estará disponível nos anexos desta dissertação.
08	<i>Feedback</i> dos estudantes	Encontro de fundamental importância para que pudéssemos verificar as potencialidades e os

		pontos que podem ser melhorados para futuras apresentações a outros estudantes.
--	--	---

**Tabela 8** - Recursos e justificativa para a construção do produto educacional.

Para a segunda aplicação, foram necessárias algumas alterações, pois nós professores precisamos nos adequar à nova realidade de ensino remoto que aconteceu durante o período pandêmico. Foi preciso gravar as aulas com o *PowerPoint* narrado, as quais foram disponibilizadas para os estudantes através de link pelo *YouTube* e utilizamos questionários feitos através da plataforma *Google Forms*. Construímos um manual do professor para a aplicação desta sequência didática em forma de UEPS e está disponível nos apêndices desta dissertação.

#### **4.4 A necessidade da segunda aplicação e a reestruturação do produto de acordo com o cenário pandêmico mundial no ano de 2020.**

O ano de 2020 foi um ano que ficará marcado na história do Brasil e do mundo pela proliferação do coronavírus (Sars-Cov-2) com várias consequências sociais, dentre elas, a suspensão das aulas presenciais e a adoção de aulas remotas. Esse cenário pandêmico mundial, vivenciado em 1920, durante o surto da Gripe espanhola, forçou os docentes da educação básica e ensino superior a alterar, de maneira substancial, seu modo de ensinar.

No subcapítulo seguinte, faremos uma abordagem das concepções que permeiam a construção da segunda versão do produto, seguindo as diretrizes, embasamentos, referenciais e justificativas propostos nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 deste trabalho. Apresentamos as devidas adequações inerentes às novas situações criadas por fatores externos que forçaram uma mudança na rotina das escolas. O Produto Educacional, que é composto por uma sequência didática (e materiais produzidos, como slides), e o manual do professor sofreram adequações entre a primeira e a segunda aplicação para atender a vários fatores.

- i. evidência de pouca aprendizagem significativa na primeira aplicação;
- ii. mudança de orientação, com sugestões de aprimoramento da SD;

- iii. cenário pandêmico e a migração para o ensino remoto;
- iv. mudança de escola e de condições para a aplicação.

Neste caso, aplicamos o produto de maneira virtual em uma escola pública localizado no Estado de Goiás, na cidade de Luziânia, no distrito do Jardim Ingá chamada Colégio Estadual Delfino Oclécio Machado (CEDOM) em novembro de 2020.

A escola é considerada de grande porte – maior número de alunos entre todas as escolas do estado de Goiás – e opera com quatro turnos em diversos segmentos: do Ensino Fundamental, do Ensino Médio e da Educação de Jovens e Adultos (EJA), uma modalidade que já está sendo alinhada com a nova proposta do governo para a Educação que é o Novo Ensino Médio, conhecido como NEM.

Com relação à organização das turmas, temos a seguinte disposição:

- i) No turno matutino, encontram-se os anos iniciais do Ensino Fundamental;
- ii) No turno intermediário, encontram-se os anos finais do Ensino Fundamental (neste turno as aulas possuem apenas 40 minutos), com exceção dos 9<sup>os</sup> anos que se enquadram junto com o Ensino Médio;
- iii) No turno vespertino, estão as turmas de 9<sup>o</sup> ano e Ensino Médio;
- iv) As turmas de EJA e do NEM são oferecidas no período noturno.

A tabela abaixo irá mostrar brevemente como aconteceu a distribuição das aulas nesta escola.

<b>Encontro</b>	<b>Tema das atividades</b>	<b>Material Utilizado</b>	<b>Justificativa</b>
01	Apresentação da sequência didática e sondagem inicial	Plataforma <i>Google Forms</i> ; <i>YouTube</i> (utilizado para disponibilizar as aulas gravadas em casa)	Fizemos uma apresentação inicial aos estudantes sobre como seria o projeto (vale ressaltar aqui que a organização pedagógica escolar exigia que a sequência didática fosse aplicada do 6 <sup>o</sup> ano do ensino

			<p>fundamental ao 3º ano do Ensino Médio). Então, as aulas eram gravadas e disponibilizadas no <i>YouTube</i> para que os estudantes assistissem.</p> <p>A sondagem inicial também foi feita nesta etapa utilizando um formulário do <i>Google Forms</i> que ficou disponível para os estudantes durante o dia todo.</p>
02	A formação das estrelas	<p>Plataforma <i>Google Forms</i>; <i>YouTube</i> (utilizado para disponibilizar as aulas gravadas em casa)</p>	<p>Ao contrário do sistema presencial, em que a avaliação poderia ser feita em sala de aula e intermediada pelo professor, aqui precisamos utilizar um formulário para as avaliações processuais sobre os conteúdos.</p>
03	O diagrama de Hertzsprung-Russel	<p>Plataforma <i>Google Forms</i>; <i>YouTube</i> (utilizado para disponibilizar as aulas gravadas</p>	<p>Aqui, aplicamos um pequeno jogo (usando o <i>PowerPoint</i> narrado) para os estudantes</p>

		em casa)	perceberem como as estrelas são classificadas de acordo com o seu tamanho, temperatura e luminosidade.
04	Contexto histórico e estrutura dos Buracos Negros	Plataforma <i>Google Forms</i> ; <i>YouTube</i> (utilizado para disponibilizar as aulas gravadas em casa)	Aqui, mostramos aos estudantes qual foi o contexto histórico, como os cientistas evoluíram seu pensamento a respeito dos Buracos Negros e em seguida apresentamos a eles qual é a estrutura associada a um Buraco Negro
05	Classificação dos Buracos Negros e sondagem final	Plataforma <i>Google Forms</i> ; <i>YouTube</i> (utilizado para disponibilizar as aulas gravadas em casa)	Fizemos um aprofundamento neste encontro com os estudantes para falarmos sobre os conceitos da física que estão relacionados à classificação dos Buracos Negros com relação à presença de cargas elétricas e de rotação. Como fechamento,

			realizamos a sondagem final, que foi uma breve variação da sondagem inicial.
--	--	--	--

**Tabela 9** - A reconstrução do produto para a aplicação no cenário pandêmico.

Vale relembrar que, devido à organização da escola, a carga horária foi reduzida, então as aulas tiveram que ser condensadas para atender às demandas logísticas da instituição e que as ferramentas escolhidas foram mais genéricas, pois sabemos que em meio ao contexto da aplicação, muitos estudantes poderiam não ter condições de acessar outros recursos mais complexos. O manual da aplicação virtual estará nos anexos desta dissertação em apêndice específico.

No capítulo seguinte, daremos ênfase às metodologias e parâmetros aplicados nesta dissertação.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Metodologia de pesquisa e aplicação

Neste capítulo, versaremos de maneira mais profunda sobre o processo de aplicação do produto, focando nos processos metodológicos adotados. Durante o ano de 2019 essa pesquisa foi aplicada em uma escola da rede pública de ensino do Distrito Federal de maneira presencial, porém, fez-se necessária uma segunda aplicação, que aconteceu de maneira virtual, dado o cenário pandêmico mundial de 2020. Entretanto, essa primeira serviu como base para perceber a evolução do trabalho. Ressaltamos aqui que a segunda aplicação foi ancorada na primeira, considerando possíveis aprimoramentos. A princípio, a proposta dessa pesquisa é apresentar uma sequência didática em forma de UEPS, seguindo algumas etapas que serão descritas abaixo:

1. *Sondagem inicial que busca fazer um levantamento dos conhecimentos prévios;*
2. *O uso de materiais de ensino potencialmente significativos;*
3. *Métodos investigativos que consigam fornecer **indícios** de aprendizagem significativa.*

O autor (pesquisador) dessa dissertação participou concretamente e ativamente junto com os estudantes dessa escola com o propósito de clarificar as etapas de estudo, que estão embasados nos conceitos do referencial teórico apresentado nessa dissertação.

Vale ressaltar aqui que o estudante que teve uma frequência de 75% ou mais das atividades e que tenha cumprido a sondagem inicial e a sondagem final será incluído nas análises, aqueles que não tiveram a participação mínima terão as respostas computadas, porém, não será feita uma leitura mais profunda desses dados.

Para a aplicação em época de pandemia, a escola autorizou a inserção dos estudantes de 6º ao 9º ano do ensino fundamental nesta aplicação da UEPS para auxiliar na a logística adotada pela escola, durante o processo de aulas remotas, enquanto as aulas presenciais estavam suspensas durante o cenário pandêmico no Brasil.

## **5.2 Contextualização da primeira aplicação.**

A primeira aplicação do produto educacional em forma de UEPS da qual essa dissertação se refere foi realizada no segundo semestre de 2019 em uma escola pública da Região Administrativa de Ceilândia em duas turmas do turno noturno para alunos do 3º ano do Ensino Médio. Nesse primeiro caso, utilizaremos a nomenclatura de Turma A e Turma B totalizando 50 alunos frequentes (existiram casos de desistência no meio da sequência didática e logo fez-se necessário excluir os estudantes que não completaram a sequência para não prejudicar a tabulação, interpretação e leitura dos dados). Os estudantes que aqui participaram foram classificados com Estudante 01, Estudante 02 e assim sucessivamente.

Nesta escola, é oferecido aos estudantes aulas nos três turnos, Ensino Fundamental I, Ensino Fundamental II e Ensino Médio. No caso do Ensino Médio, dentro do contexto do Distrito Federal, a maneira com que as disciplinas são ofertadas é na modulação de Semestralidade em que existe uma “duplicação” da carga horária semanal, porém, essas disciplinas são apenas ofertadas em um semestre. Na escola, temos 30 salas de aula em com acesso à internet, contando com laboratório de ciências, laboratório de informática, biblioteca, auditório e sala de vídeo.

A validação da escolha das turmas de maneira aleatória é fundamentada com base no referencial teórico: não se faz necessário que o processo de escolha passe por um determinado método ou procedimento específico. Vale ressaltar que ainda o tema dessa dissertação (Buracos Negros) está completamente de acordo com nível de compreensão e entendimento dos alunos de terceiro ano do Ensino Médio.

### **5.3 Descrição da primeira aplicação do produto em forma de UEPS.**

Conforme o referencial teórico adotado, a primeira aplicação do produto foi baseada a luz dos conceitos da UEPS proposta por Moreira (2011a) e a sequência didática foi construída amparando-se nos planos de aula propostos por Ferreira e Filho (2019).

Os recursos utilizados nesta primeira aplicação tais como arquivos, questionários e *slides* estarão disponíveis no final dessa dissertação, mais especificamente na seção dos Apêndices.

Nesta primeira tentativa, estabelecemos que o professor pesquisador deve fazer um diário de bordo durante a aplicação do produto para conseguirmos manter com mais fidelidade os registros das diversas etapas das atividades. Consideramos isso muito importante pois muitas vezes, caso esse registro não ocorra, o professor pode perder detalhes importantes da aplicação simplesmente por não ter anotado. O intuito da construção desse diário de bordo é fazer com que o professor pesquisador registre características como:

1. *A participação dos estudantes (análise sobre engajamento, postura, interesse...)*
2. *As sondagens iniciais e finais*
3. *A participação durante as etapas da sequência didática*

Todo esse processo é importante pois, com base nesses registros, poderemos colaborar com a identificação das evidências da Aprendizagem Significativa.

A aplicação do produto educacional foi executada de maneira individual para os estudantes das duas turmas A e B.

Os encontros iniciais foram fundamentais para que o professor pesquisador pudesse explicar o que é esse projeto do MNPEF e também para que verificar a existência dos conhecimentos prévios e subsunçores dos estudantes através de uma sondagem inicial. A mesma foi realizada através de um pré-teste envolvendo questões de diversos níveis de dificuldade, com objetivos diferentes, para investigar quais eram as potencialidades dos estudantes e verificar quais possíveis dificuldades eles poderiam ter, dadas as ideias-âncoras que estão na estrutura cognitiva dos estudantes.

Abaixo, relataremos com o maior grau de fidelidade possível o processo dos encontros durante a aplicação da sequência didática.

**Encontro 01** – Por não serem turmas sob minha responsabilidade, na escola (e aqui agradeço ao meu colega de mestrado José Cordeiro Neto por me ceder as aulas para desenvolver essa sequência didática), fizemos nesse primeiro encontro a apresentação do professor pesquisador, com algumas informações iniciais. Os estudantes das duas turmas foram informados que participariam da aplicação do produto educacional que faz parte desta pesquisa e que também é pré-requisito para a obtenção do título de Mestre pelo Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF pela Universidade de Brasília – UnB. Explicamos que o tema seria “Buracos Negros – Uma Sequência didática para o Ensino Médio” e que existira uma sequência lógica condizente com o nível de instrução e compreensão científica dos estudantes, abordando os conceitos mais relevantes para que pudéssemos verificar as evidências da aprendizagem significativa.

Durante esse encontro, que durou 1 hora e 30 minutos, o equivalente a 2 horas aula, após a apresentação começamos com a sondagem inicial, que consistia em um pré-teste, formado por cinco questões gerais sobre astronomia, contendo desde perguntas básicas como “O que é astronomia” até perguntas mais elaboradas, por exemplo “Como são formados os Buracos Negros?”.

Como era esperado, muitos estudantes mostraram grande desinteresse, por ser uma situação em que não valia nota ou menção para a disciplina. Porém, ao longo da aplicação, conseguimos perceber mudanças de opinião e o grau de participação desses estudantes foi aumentando gradativamente, reduzindo a poucos os alunos relutantes com a participação devido à falta de “nota”.

**Encontro 02** – Durante esse encontro, também de 1 hora e 30 minutos (2 horas aula) foi possível perceber que a postura dos estudantes com relação à pesquisa estava mudando para melhor. Perceberam que os conceitos envolvidos eram muito mais profundos e que deveriam dar mais importância a esse processo de ensino-aprendizagem.

Neste encontro, projetamos apenas o primeiro slide da Aula 01, intitulada: *A formação de estrelas*. Neste momento solicitei aos estudantes que pensassem um pouco a respeito do tema e que em breve iríamos fazer uma discussão das ideias iniciais sobre a aula. No início da discussão, foi possível perceber que, tanto na turma A quanto na turma B, a compreensão sobre a formação das estrelas era muito precária ou até mesmo inexistente.

Para essa situação, trabalhamos alguns conceitos como os de nebulosas, definimos o conceito de estrelas e associamos a gravidade e atração gravitacional como fatores que favorecem a formação das estrelas. Esclarecemos então qual é a escala de tempo para que as estrelas surjam e o processo de sua formação.

**Encontro 03** – Após avançarmos na discussão, durante o encontro anterior sobre a formação de estrelas, foi possível agora compreender como classificamos esses corpos celestes. Novamente, a estratégia de projetar apenas o primeiro slide foi utilizada para que os alunos respondessem uma pequena pergunta “O que é o diagrama de Hertzsprung Russel?” (Aqui o chamaremos de Diagrama H-R). Nessa situação, verificamos um dado assustador: tanto na Turma A quanto na Turma B, não obtivemos nenhuma resposta! Os estudantes, de acordo com as palavras deles, simplesmente não conheciam e/ou nunca tinham ouvido falar no assunto. Isso é um ponto muito delicado pois tivemos que nos ancorar em outros subsunçores, principalmente àqueles que remetem à classificação, para podermos desenvolver essas aulas da melhor maneira possível. Trouxemos para os estudantes, neste caso, uma abordagem sintética, porém, objetiva sobre o diagrama H-R.

Inicialmente apresentamos quem eram os cientistas e como eles trabalharam para escolher as características das estrelas que fundamentaram a construção de um diagrama relacionando temperatura, tamanho e luminosidade, sendo esses dois últimos medidos em relação ao Sol.

Em seguida, apresentamos alguns conceitos importantes sobre a distribuição da maioria das estrelas em uma linha curva denominada sequência principal e falamos que a massa das estrelas era um fator decisivo para sabermos se a estrela em questão fazia parte ou não da sequência principal.

Abordamos nesse encontro também nomenclaturas de estrelas que estão fora da curva da sequência principal como as Supergigantes Azuis e Vermelhas, as Gigantes e as estrelas anãs.

Relatos dos estudantes mostram que durante esse encontro eles puderam compreender melhor a existência dos diversos tipos de estrelas, pois muitos deles apenas tinham uma breve noção do conceito das cores das estrelas (todos eles de acordo com as observações a olho nu para o céu), vendo estrelas que pareciam brancas, azuis e vermelhas.

O tempo de duração deste encontro foi de 1 hora e 30 minutos (2 horas aula).

**Encontro 04** – Após avançarmos nos conteúdos de astronomia, estrelas e suas classificações, neste encontro que durou 90 minutos (2 horas aula) começamos a introduzir o conceito de Buracos Negros. Alguns estudantes nunca tinham ouvido esse termo, porém, muitos já tinham ouvido falar e grande parte deles o associaram a filmes de ficção científica e o nome mais citado foi o do filme *Interestelar* (2014). É importante que os estudantes façam essas associações porque, mesmo sendo superficial, já temos uma ideia-âncora em que podemos construir as devidas conexões para compreensão dos tópicos relevantes no estudo do tema proposto para essa dissertação.

Primeiramente, mostramos aos estudantes uma apresentação de slides que mostra um panorama histórico iniciando-se no final do século XVIII e indo até o ano de 2019 com a foto do Buraco Negro, de como os conceitos foram mudando de forma gradativa ao longo do tempo e da evolução das ferramentas de observação. Vale ressaltar aqui que essa nomenclatura foi alterada diversas vezes durante a história. Desde “estrela escura” até “estrela colapsada” até chegarmos hoje no termo padrão “Buraco Negro”.

**Encontro 05** – Nesta aula tivemos a apresentação de slides para que os estudantes pudessem verificar visualmente as estruturas que compõem um Buraco Negro visualmente, fazendo com que a aprendizagem seja facilitada.

Durante esse encontro, chegamos a mais uma situação em que quase nenhum estudante tinha noção de quais eram as estruturas dos Buracos Negros. Ao citar alguns nomes, apenas acenavam negativamente com a cabeça.

Neste encontro, definimos o conceito de Buraco Negro explicando de maneira Newtoniana o fato de que o campo gravitacional dele é tão intenso que é possível aprisionar a luz. Para esse procedimento fez-se necessário uma recapitulação dos conteúdos de gravitação e gravidade e abordar o conceito da velocidade da luz “ $c$ ”.

Adentrando o conceito da parte estrutural do Buraco Negro, definimos os seguintes conceitos:

1. *Singularidade;*
2. *Horizonte de Eventos;*
3. *Esfera de fótons;*
4. *Jatos relativísticos;*
5. *Órbita interna estável;*
6. *Disco de Acreção.*

Nosso encontro nesse dia estava previsto para durar 90 minutos, porém, devido à complexidade do tema, durou 120 minutos.

**Encontro 06** – Neste encontro revisitamos os conceitos de estrela e mostramos aos estudantes quais eram as suas peculiaridades e conseguimos perceber que nem todas as estrelas se tornam Buracos Negros, ou seja, para que isso aconteça é necessário que alguns requisitos sejam cumpridos, o mais importante dele é massa da estrela. Durante nosso encontro, algumas perguntas surgiram sobre como é possível medir a massa de uma estrela e como prevemos esses eventos de transformação de Buracos Negros. Para essa situação, tivemos que explicar o processo de medição da massa de uma estrela, ficando esse procedimento observacional, essencial na astronomia, mais claro para os estudantes.

Em seguida, demos início ao processo de descrição dos tipos de Buracos Negros que estão relacionados abaixo:

Modelo	Rotação	Carga
Schwartzschild	Não	Não
Kerr	Sim	Não
Reissner-Nordstorm	Não	Sim
Kerr-Newman	Sim	Sim

**Tabela 10** – Características dos Buracos Negros

Na sequência, discutimos sobre como é possível “enxergarmos” o Buraco Negro, pois na teoria das cores relacionadas à física, um objeto preto absorve todas as cores, sendo assim, teoricamente impossível de se ver, porém, foi explicado para os estudantes que são utilizados diversos equipamentos com propriedades específicas que trabalham em conjunto coletando e analisando dados para nos fornecer informações coerentes.

Para encerrar com um momento mais descontraído, finalizamos a aplicação com algumas teorias sobre o que aconteceria se caíssemos dentro de um Buraco Negro. Neste momento final tivemos participação ativa dos estudantes e os relatos foram que a sequência didática tinha sido muito produtiva.

Recomendamos ainda, para os que tivessem oportunidade/interesse, que assistissem ao episódio sobre Buracos Negros da série O Universo do canal *The History Channel*, como forma de conseguir mais informações sobre esse elemento astronômico.

Novamente, precisamos extrapolar um pouco o tempo previsto de 90 minutos e nosso encontro durou aproximadamente 110 minutos.

**Encontro 07** – Neste encontro, realizamos o pós-teste composto de 7 questões com graus de dificuldade progressivos para verificarmos se os estudantes conseguiram fazer as devidas conexões e para que pudéssemos verificar os indícios da existência da Aprendizagem Significativa. Percebemos que alguns estudantes tiveram muita facilidade em responder as questões, porém, outros tiveram dificuldade devido à resistência inicial em participar do projeto (pela questão de não valer nota).

Os estudantes das duas turmas foram colocados em uma sala e tiveram 90 minutos para fazer esse pós-teste, porém, muitos terminaram ainda na primeira metade e finalizamos o teste com cerca de 75 minutos.

**Encontro 08** – Feedback final dos estudantes em que foram colocadas diversas situações e separaremos elas aqui em dois grupos:

- Feedbacks positivos:
  - Tema interessante;
  - Didática do Professor;
  - Discussões para aprender;
  - Questionamentos provocativos;
  - Duração das apresentações.
  
- Feedbacks negativos;
  - Muito uso de slides sem animação;
  - Muitos textos;
  - Dificuldade em visualizar certas situações;
  - Falta de um “experimento”.

Tendo em vista esses feedbacks fornecidos pelos estudantes, os mesmos foram considerados na revisão do produto educacional que foi aplicado pela segunda vez. Com isso, findou-se aqui a primeira etapa de aplicação do produto. Os resultados serão expostos no capítulo subsequente e os frutos dessas aplicações serão discutidos de

maneira mais criteriosa, por meio da comparação qualitativa e quantitativa, com o objetivo de verificar da existência de indícios de aprendizagem significativa.

## **6. ANÁLISES E RESULTADOS**

### **6.1 Análises e resultados da primeira aplicação.**

Neste capítulo, apresentaremos e discutiremos os resultados associados às pesquisas realizadas com os estudantes durante a primeira aplicação do produto educacional em forma de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS. Para conseguirmos um resultado mais preciso, foram utilizadas as anotações feitas no diário de bordo de todos os encontros, assim como os resultados das sondagens iniciais e finais, os feedbacks e as questões relacionadas à pesquisa desenvolvida durante esse processo.

Para buscar as evidências de aprendizagem significativa, utilizamos uma análise quantitativa dos questionários baseando-se em indicadores qualitativos das respostas fornecidas pelos estudantes. A categorização se deu seguindo o seguinte critério:

Para analisar as respostas dos alunos aos questionários, sondagens iniciais e finais, as respostas foram categorizadas em cinco tipos.

- Não responderam (NR): São questões em que os alunos não responderam.
- Fuga do Tema (FT): São consideradas as respostas cuja essência não se relaciona de maneira alguma com o tema abordado.
- Incoerente (IN): São respostas em que aparecem elementos relacionados ao tema, porém abordados com pouco ou nenhum rigor técnico ou científico.
- Coerente (CO): São respostas que se relacionam com o tema, porém com pouco ou nenhum detalhamento.
- Resposta Adequada (RA): São respostas coerentes e que contêm riquezas de detalhes do tema abordado.

(FERREIRA; SILVA FILHO; CORTEZ; SCHINZEL; NETO; SILVA; 2018, p. 10 – 11)

Para que fique melhor ilustrado, mostraremos abaixo algumas imagens extraídas dos próprios questionários dos estudantes e sem a identificação do aluno para preservar a sua integridade, exemplificando assim os critérios acima descritos.

1. No primeiro caso, os alunos que receberam a sigla (NR) referente ao não responder, significa que as questões foram deixadas em branco nos questionários pelos estudantes;
2. No caso de fuga do tema (FT), foram considerados os casos de respostas em que não existe uma relação entre o propósito da resposta com o tema da questão.

1) O que é Astronomia? (Objetivo: verificar a presença de subsunçores relacionados ao conhecimento básico de astronomia)

É o estudo das comidas típicas brasileiras

**Figura 21** - Exemplo de resposta caracterizada como fuga do tema.

3. Incoerente (INC): neste tópico enquadraremos respostas em que os elementos até são relacionados ao tema, porém, não existe um rigor técnico ou científico;

3) Como são classificadas as estrelas? (Objetivo: Verificar se os alunos conhecem o Diagrama de Hertzsprung-Russel – espera-se que em caso positivo eles possam relacioná-los com as características das estrelas como luminosidade e temperatura)

São classificadas de acordo com a sua gravidade

**Figura 22** - Exemplo de resposta incoerente.

4. No caso de respostas Coerentes (CO), teremos que verificar se existe o detalhamento, ou seja, existe a conexão, porém, sem nenhuma descrição ou explicação

2) Como são formadas as Estrelas? (Objetivo: em um nível mais alto de conhecimento, perceber quais são as ideias dos alunos sobre a formação de estrelas – respostas adequadas deverão conter ideias sobre aglomerados de matéria e ideias de gravitação)

elas surgem nas nebulosas

**Figura 23** - Exemplo de resposta coerente.

5. Tratando-se das respostas adequadas (RA), inserimos aqui as respostas com coerência e riqueza de detalhes dos temas abordados.

4) O que são buracos negros? (Objetivo: Investigar quais são as ideias apresentadas pelos alunos para a explicação do fenômeno do buraco negro)

São regiões no espaço-tempo cuja gravidade é tão intensa que nem mesmo a luz consegue escapar.

**Figura 24** - Exemplo de resposta adequada.

Depois de esclarecer como foram categorizadas todas as respostas envolvidas nos questionários aplicados durante o encontro 02 e o encontro 07, quando foram realizadas a sondagem inicial e sondagem final respectivamente, utilizamos recursos de tabelas e gráficos para a melhor visualização do processo da busca das evidências da Aprendizagem Significativa.

## **6.2 Dados da primeira aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.**

Após o processo de sondagem inicial aplicados nas turmas A e B, fez-se necessária a construção de duas tabelas (01 e 02) que representam de maneira gráfica a quantização e a categorização das respostas de cada estudante. No primeiro momento, todas as questões se enquadravam nessa classificação, pois os conceitos de familiarização eram pré-requisitos para o bom desenvolvimento da sequência didática em forma de UEPS.

## Questionário de sondagem inicial: Tema – Buracos Negros

### Questão 01

O que é astronomia?

Objetivo: Investigar a presença de conhecimento prévio sobre astronomia

### Questão 02

Como são formadas as estrelas? E como elas são organizadas?

Objetivo: Investigar a presença de um grau mais complexo de compreensão sobre os conceitos de astronomia.

### Questão 03

O que são Buracos Negros?

Objetivo: Verificar se o estudante tem familiaridade com o tema desta dissertação.

### Questão 04

Como são formados os Buracos Negros?

Objetivo: Analisar a capacidade de raciocínio do aluno durante as etapas de formação de um Buraco Negro.

### Questão 05

Quais são os efeitos gerados pela gravidade de corpos supermassivos?

Objetivo: Investigar a presença de conhecimentos sobre os efeitos relativísticos causados por esses corpos.

Estudante	Questões				
	1	2	3	4	5
Estudante 01	CO	NR	CO	CO	NR
Estudante 02	RA	INC	INC	INC	FT
Estudante 03	CO	CO	FT	NR	INC
Estudante 04	RA	INC	NR	FT	INC
Estudante 05	NR	NR	NR	FT	CO
Estudante 06	FT	FT	NR	FT	INC
Estudante 07	INC	INC	FT	INC	NR

Estudante 08	CO	CO	CO	NR	NR
Estudante 09	RA	CO	CO	CO	NR
Estudante 10	CO	INC	RA	RA	NR
Estudante 11	RA	RA	RA	RA	NR
Estudante 12	INC	INC	INC	NR	INC
Estudante 13	INC	CO	CO	FT	INC
Estudante 14	RA	RA	RA	INC	FT
Estudante 15	RA	INC	RA	CO	INC
Estudante 16	INC	NR	FT	RA	INC
Estudante 17	CO	NR	NR	FT	CO
Estudante 18	FT	CO	NR	INC	CO
Estudante 19	INC	RA	NR	CO	NR
Estudante 20	NR	RA	FT	RA	NR
Estudante 21	CO	INC	INC	RA	NR
Estudante 22	RA	FT	CO	RA	NR
Estudante 23	RA	INC	CO	CO	NR
Estudante 24	RA	RA	CO	CO	NR
Estudante 25	RA	RA	CO	CO	NR

**Tabela 10** - Tabulação das respostas dos estudantes da primeira aplicação turma A

Estudante	Questões				
	1	2	3	4	5
Estudante 01	CO	CO	FT	RA	NR
Estudante 02	RA	RA	INC	INC	INC
Estudante 03	NR	INC	RA	CO	FT
Estudante 04	FT	CO	CO	RA	NR
Estudante 05	FT	RA	FT	FT	NR
Estudante 06	CO	RA	CO	NR	NR
Estudante 07	CO	RA	CO	NR	NR
Estudante 08	RA	CO	RA	NR	INC
Estudante 09	RA	CO	RA	CO	INC
Estudante 10	RA	FT	RA	RA	INC
Estudante 11	RA	INC	FT	INC	CO
Estudante 12	RA	CO	CO	RA	RA
Estudante 13	CO	RA	INC	INC	INC
Estudante 14	CO	RA	NR	CO	FT

Estudante 15	CO	INC	CO	CO	NR
Estudante 16	CO	INC	INC	RA	NR
Estudante 17	CO	CO	RA	RA	INC
Estudante 18	RA	FT	RA	RA	NR
Estudante 19	RA	RA	NR	INC	INC
Estudante 20	INC	INC	FT	FT	NR
Estudante 21	INC	CO	CO	NR	INC
Estudante 22	RA	CO	RA	FT	NR
Estudante 23	NR	RA	CO	CO	NR
Estudante 24	CO	INC	CO	RA	INC
Estudante 25	NR	FT	CO	RA	CO

**Tabela 11** - Tabulação das respostas da sondagem inicial da turma B.

Após todo o ciclo completo, realizamos o processo de sondagem final para que assim pudéssemos verificar as evidências da aprendizagem significativa através da comparação dos resultados das tabelas 01 e 02 com as da tabela 03 e 04.

### **Questionário – Sondagem final: Tema – Buracos Negros**

Questão 01

O que é astronomia?

Objetivo: Investigar se o alicerce conceitual em que a teoria dos Buracos Negros foi bem fixada.

Questão 02

Como são formadas as estrelas?

Objetivo: Verificar se os conhecimentos prévios foram bem fixados e a capacidade de relacionar um novo conhecimento. (Diferenciação Progressiva)

Questão 03

Como são classificadas as estrelas?

Objetivo: Verificar se houve um aumento no grau de compreensão dos estudantes dada uma questão com um nível de complexidade mais alto.

Questão 04

O que são Buracos Negros?

Objetivo: Verificar a coerência em um nível acadêmico mais elevado (reconciliação integradora)

Questão 05

Faça um desenho esquemático de um Buraco Negro representando suas partes e se possível descreva quais são os efeitos causados por ele no espaço-tempo.

Objetivo: Verificar a capacidade dos estudantes em fazer uma representação gráfica de um fenômeno potencialmente abstrato.

Questão 06

Quais são os tipos de Buracos Negros de acordo com as suas características?

Objetivo: Investigar se os estudantes fizeram as devidas associações de maneira correta com os conceitos principais dos Buracos Negros.

Questão 07

Como prevemos a existência de um Buraco Negro?

Objetivo: Investigar se os estudantes foram capazes de compreender os conteúdos estruturantes como gravitação e gravidade e as órbitas de corpos que passam nas redondezas dos Buracos Negros. (Reconciliação integradora).

Após a tabulação dos dados, montamos as próximas tabelas mostrando qual foram as respostas obtidas ainda seguindo a organização e descrição feita no início desta seção.

Estudante	Questões						
	1	2	3	4	5	6	7
Estudante 01	RA	CO	CO	RA	CO	RA	NR
Estudante 02	RA	CO	CO	CO	CO	NR	NR
Estudante 03	RA	RA	RA	RA	RA	CO	CO
Estudante 04	CO	RA	CO	RA	RA	RA	RA
Estudante 05	INC	RA	CO	RA	RA	RA	RA
Estudante 06	RA	RA	RA	CO	CO	RA	RA
Estudante 07	CO	RA	CO	INC	RA	RA	RA
Estudante 08	CO	RA	INC	RA	RA	RA	RA
Estudante 09	CO	NR	RA	RA	RA	RA	RA

Estudante 10	NR	CO	CO	RA	RA	RA	RA
Estudante 11	RA	CO	FT	RA	RA	RA	CO
Estudante 12	FT	INC	INC	RA	CO	RA	CO
Estudante 13	CO	CO	CO	CO	RA	RA	CO
Estudante 14	FT	CO	RA	CO	RA	CO	CO
Estudante 15	RA	RA	RA	CO	NR	INC	CO
Estudante 16	CO	RA	RA	RA	RA	FT	CO
Estudante 17	RA	RA	RA	RA	NR	RA	NR
Estudante 18	RA	NR	RA	RA	RA	RA	CO
Estudante 19	RA	FT	RA	RA	NR	RA	CO
Estudante 20	CO	FT	RA	CO	CO	RA	CO
Estudante 21	RA	RA	RA	CO	CO	CO	RA
Estudante 22	RA	CO	NR	FT	CO	RA	RA
Estudante 23	RA	CO	FT	INC	CO	CO	RA
Estudante 24	RA	CO	NR	NR	NR	CO	RA
Estudante 25	RA	RA	CO	RA	CO	CO	RA

**Tabela 12** - Tabulação das respostas da sondagem final turma A

Estudante	Questões						
	1	2	3	4	5	6	7
Estudante 01	RA	RA	CO	CO	NR	RA	RA
Estudante 02	RA	RA	CO	FT	NR	RA	RA
Estudante 03	RA	RA	CO	RA	NR	CO	CO
Estudante 04	RA	RA	RA	RA	CO	CO	RA
Estudante 05	CO	RA	RA	RA	RA	RA	RA
Estudante 06	CO	RA	RA	RA	RA	CO	RA
Estudante 07	FT	RA	CO	RA	RA	RA	FT
Estudante 08	RA	CO	INC	CO	RA	RA	INC
Estudante 09	RA	CO	FT	CO	RA	CO	RA
Estudante 10	CO	CO	INC	CO	RA	CO	RA
Estudante 11	CO	RA	RA	CO	RA	RA	RA
Estudante 12	CO	CO	CO	CO	RA	RA	RA
Estudante 13	CO	RA	CO	CO	RA	RA	RA
Estudante 14	RA	CO	RA	CO	RA	CO	NR
Estudante 15	RA	RA	RA	RA	CO	CO	CO
Estudante 16	RA	RA	RA	CO	CO	RA	CO
Estudante 17	RA	RA	RA	RA	CO	RA	RA
Estudante 18	RA	RA	RA	RA	CO	INC	RA
Estudante 19	INC	RA	RA	RA	INC	NR	RA
Estudante 20	RA	RA	RA	RA	RA	NR	CO
Estudante 21	RA	RA	RA	RA	RA	RA	CO
Estudante 22	RA	CO	CO	RA	FT	RA	NR
Estudante 23	RA	CO	CO	CO	RA	INC	RA
Estudante 24	RA	INC	CO	RA	RA	RA	CO
Estudante 25	NR	NR	CO	CO	FT	CO	CO

**Tabela 13** - Tabulação das respostas da sondagem final da turma B

Após expor de maneira gráfica os resultados individuais dos estudantes, vamos transformar essas informações em números para que consigamos observar de maneira quantitativa os dados.

Nas tabelas que se seguem teremos a tabulação dos dados da seguinte maneira:

Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	2	2	5	6	10	25
2	4	2	8	5	6	25
3	6	4	3	8	4	25
4	3	5	4	7	6	25
5	13	2	7	3	0	25
Total	28	15	27	29	26	

**Tabela 14** - Tabulação dos dados da sondagem inicial da turma A;

Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	3	2	2	9	9	25
2	0	3	6	8	8	25
3	2	4	3	9	7	25
4	4	3	4	5	9	25
5	10	3	9	2	1	25
Total	19	15	24	33	35	

**Tabela 15** - Tabulação dos dados da sondagem inicial da turma B;

Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	5	4	7	15	19	50
2	4	5	14	13	14	50
3	8	8	6	17	11	50
4	7	8	8	12	15	50
5	23	5	16	5	1	50
Total	47	30	51	62	60	

**Tabela 16** – Tabulação dos dados da sondagem inicial das duas turmas;

Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	1	2	1	7	14	25
2	2	2	1	9	11	25

3	2	2	2	8	11	25
4	1	1	2	7	14	25
5	4	0	0	9	12	25
6	1	1	1	7	15	25
7	3	0	0	10	12	25
Total	14	8	7	57	89	

**Tabela 17** - Tabulação dos dados da sondagem final da turma A;

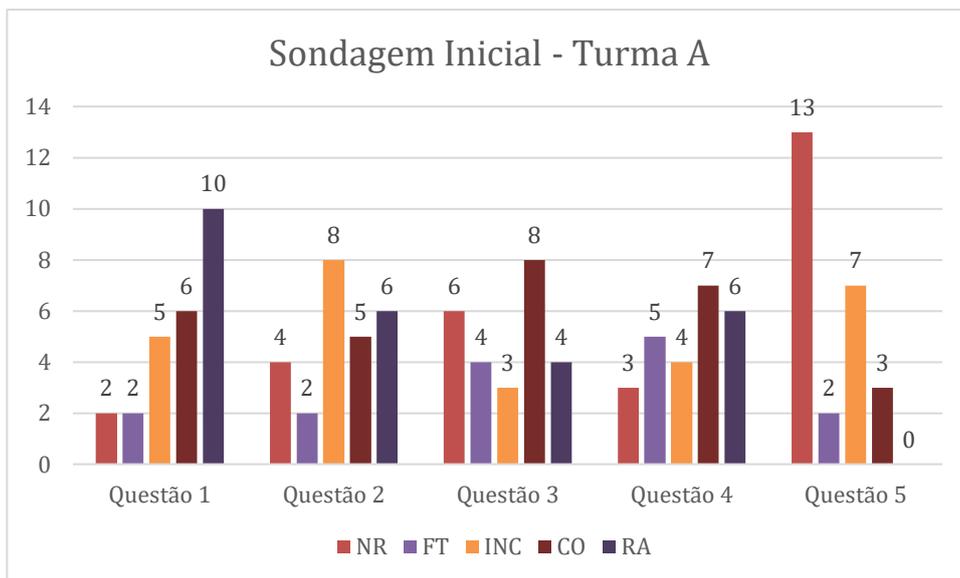
Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	1	1	1	6	16	25
2	1	0	1	7	16	25
3	0	1	2	10	12	25
4	0	1	0	11	13	25
5	3	2	1	5	14	25
6	2	0	2	8	13	25
7	2	1	1	7	14	25
Total	9	6	8	54	98	

**Tabela 18** - Tabulação dos dados da sondagem final da turma B

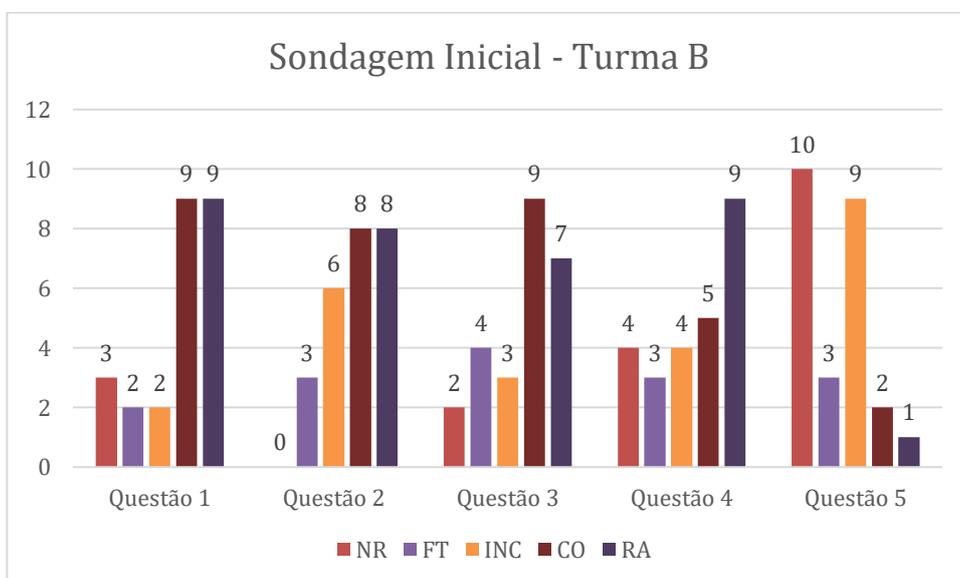
Questão	Respostas					N° de respostas
	NR	FT	IN	CO	RA	
1	2	3	2	13	30	50
2	3	2	2	16	27	50
3	2	3	4	18	23	50
4	1	2	2	18	27	50
5	7	2	1	14	26	50
6	3	1	3	15	28	50
7	5	1	1	17	26	50
Total	23	14	15	111	187	

**Tabela 19** - Tabulação dos dados da sondagem final das duas turmas.

A seguir faremos um estudo analisando os dados das tabelas que foram transformados em gráficos.

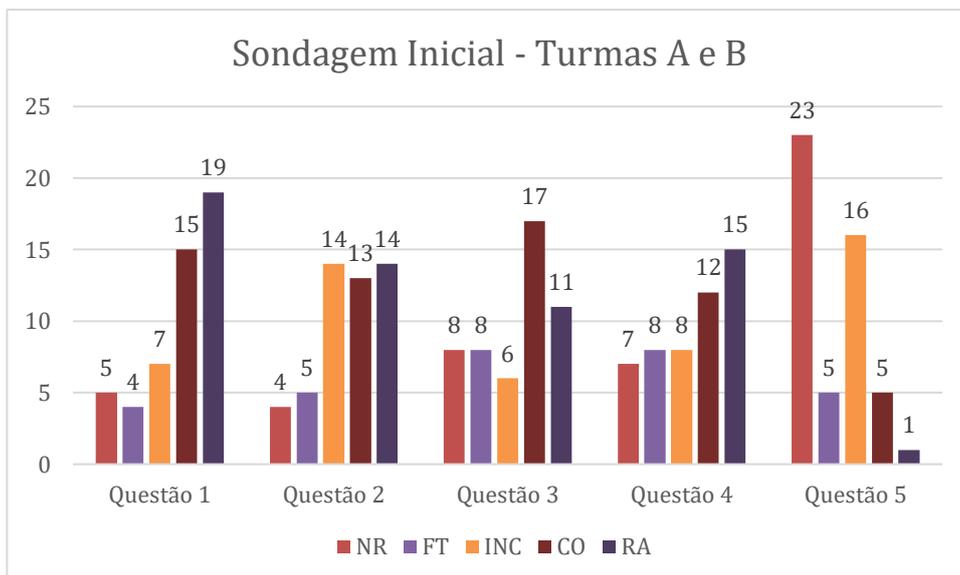


**Gráfico 1** - dados da sondagem inicial na turma A



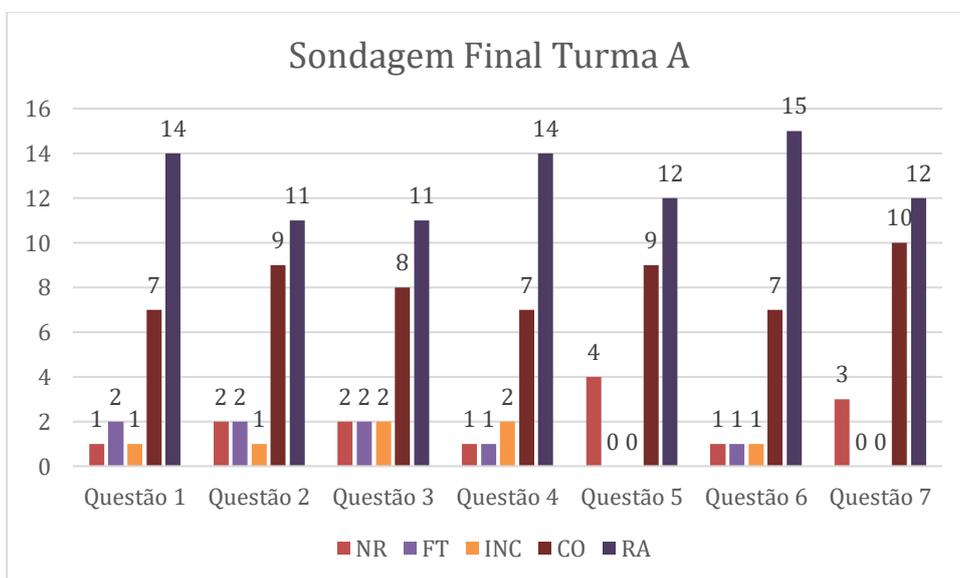
**Gráfico 2** - Dados da sondagem inicial da turma B

O gráfico abaixo mostra quantitativamente os dados da sondagem inicial realizadas pelas duas turmas.



**Gráfico 3** - dados da sondagem inicial das duas turmas

Abaixo seguem os resultados dos gráficos das sondagens finais aplicadas para os estudantes.



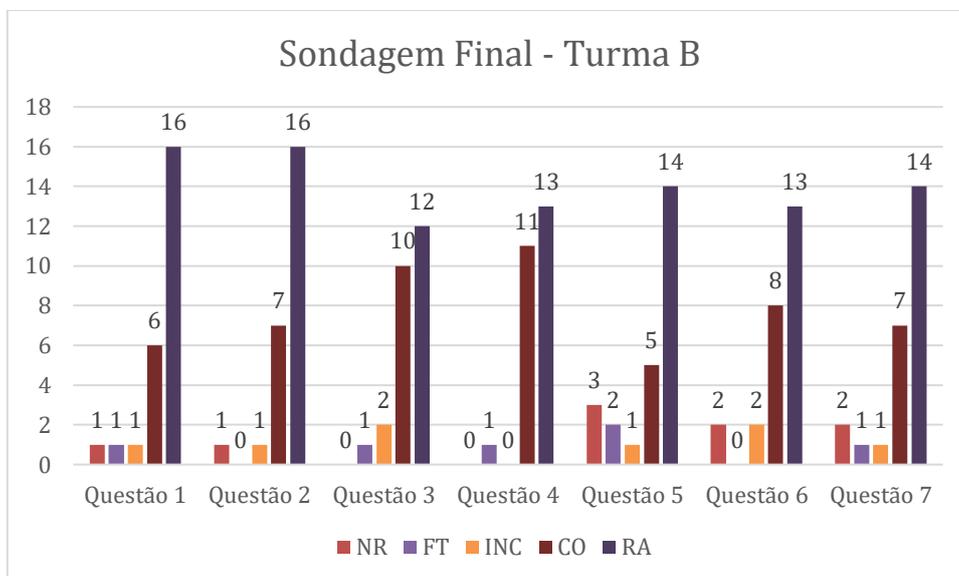
**Gráfico 4** - Dados da sondagem final da turma A

Em comparação com a sondagem inicial da turma A pudemos perceber um grande avanço. As questões foram levemente modificadas, porém, englobavam os mesmos conceitos e o mesmo grau de dificuldade.

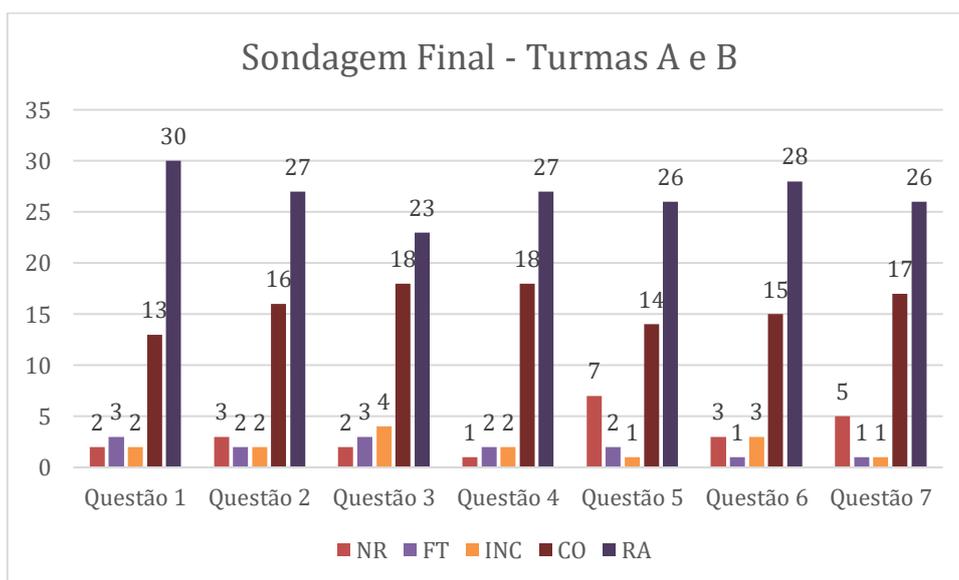
Neste gráfico, verificamos que em todas as questões os estudantes obtiveram os resultados esperados, com expressiva significância, após a aplicação da sequência didática.

Fazendo uma breve análise da turma pudemos perceber que das 175 respostas possíveis, tivemos um resultado de aproximadamente 83,4% das respostas enquadradas como coerentes ou adequadas e 16,6% apenas de respostas consideradas “insatisfatórias” que são enquadradas em nas categorias NR, FT e INC.

Para a segunda turma obtivemos os seguintes resultados:



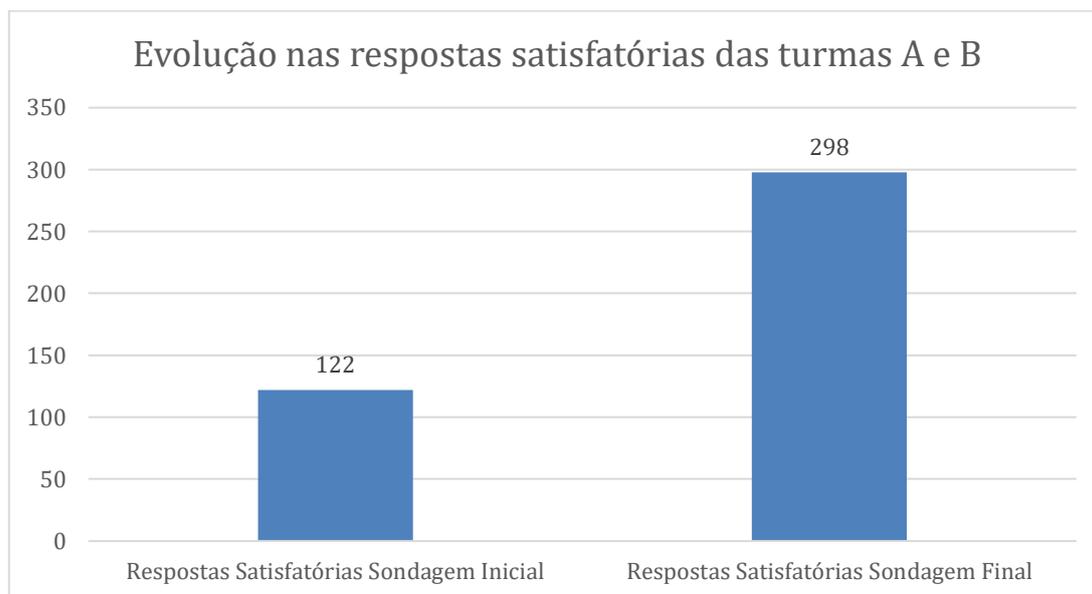
**Gráfico 5** - Dados da sondagem final da Turma B.



**Gráfico 6** - Dados da sondagem final das turmas A e B.

Neste caso, também foi percebido uma grande evolução por parte dos estudantes quando foram solicitados a responderem a sequência didática conforme o gráfico abaixo.

Ressaltamos aqui que as respostas consideradas satisfatórias englobam as respostas coerentes (CO) e as respostas adequadas (RA).



**Gráfico 7** - Análise das respostas satisfatórias das turmas A e B

O gráfico acima mostra, de maneira objetiva, o crescimento do número de respostas consideradas satisfatórias da sondagem inicial para a sondagem final. Verificamos um aumento muito significativo, ou seja, seguindo os parâmetros da avaliação da sequência didática, em que buscamos evidências da aprendizagem significativa, podemos observar que o aumento do índice de respostas adequadas subiu aproximadamente 144%. Após fazer a análise qualitativa das respostas, conseguimos expressar com resultados quantitativos essa evolução.

### **6.3 Análise e avaliação da primeira aplicação da UEPS (Presencial)**

Nesta seção discutiremos, analisaremos e avaliaremos esta primeira etapa, buscando elementos que nos forneçam uma leitura precisa dos dados e espera-se que consigamos atingir o objetivo de perceber elementos que indiquem evidências da aprendizagem significativa.

De acordo com os gráficos 1 e 2, foi possível perceber que o perfil das duas turmas é bem parecido quando falamos sobre o conhecimento de astronomia, as variações são poucas entre os números e a média acaba ficando muito parecida.

Ao analisar o gráfico 3, percebemos que o padrão se mantém em termos de comportamento. Ressaltamos aqui que os resultados desejados eram encontrar o maior número de respostas adequadas (RA) e respostas coerentes (CO).

Ao verificar os dados, percebemos que o resultado esperado se concretizou na maioria das questões e analisando individualmente a primeira questão, em que 38% das respostas dos estudantes foram consideradas adequadas e 30% com respostas coerentes. Os outros 32% não atingiram os resultados desejados.

Para a segunda questão, o índice de respostas incoerente (INC) e respostas adequadas foram 28% enquanto 26% obtiveram respostas coerentes e os outros 46% não responderam adequadamente às perguntas solicitadas durante a sondagem inicial.

Na terceira questão é possível perceber uma melhora nos indicadores de acordo com o gráfico 3, pois muitos estudantes conhecem o termo Buraco Negro de filmes de ficção científica, então as proporções ficam da seguinte maneira: 34% com respostas coerentes, 22% com respostas adequadas e 44% não conseguiram responder às questões apropriadamente.

Para a penúltima questão os indicadores mantiveram o mesmo perfil da questão anterior totalizando 30% dos estudantes conseguindo responder de maneira adequada ao comando e 24% de maneira coerente e os outros 46% não obtiveram os resultados adequados e esperados para esta pergunta.

Agora, ao analisar a última questão, pudemos perceber que houve um número consideravelmente alto de respostas fora do padrão esperado, verificamos que 46% dos estudantes sequer respondeu à questão e os estudantes que tentaram resolver, 10% fugiram ao tema da questão e 32% nos forneceram respostas incoerentes. Então, ao perceber também que apenas um aluno conseguiu responder adequadamente ao comando da quinta pergunta, faz-se necessária uma alteração, ou no comando da questão ou uma substituição da questão por completo.

Após os encontros e debates em sala de aula foi notório o desenvolvimento dos estudantes, pois o engajamento e a participação durante os encontros foi melhorando aula a aula e durante este processo. Assim, tínhamos a esperança de que os resultados das sondagens finais fossem melhores que os das sondagens iniciais.

Após a aplicação da sequência didática em forma de UEPS, demos início ao processo de sondagem final das turmas A e B, que estão descritos nos gráficos 4 e 5, respectivamente.

Ao analisar as questões da turma A, pudemos perceber que houve um aumento significativo nas respostas coerentes e respostas adequadas, numericamente falando, número dessas respostas teve um aumento, em média, de aproximadamente 31,25%, entre as respostas obtidas nas sondagens inicial e final, apesar de ser uma questão considerada básica, ainda assim os resultados ficaram abaixo do esperado na sondagem inicial e depois conseguimos atingir pelo menos 84% dos estudantes nesta questão.

Repetindo o mesmo processo para a turma B, pudemos perceber o mesmo comportamento de crescimento das respostas consideradas ideais para este projeto, verificamos então um crescimento de aproximadamente, em média, 22,22% em relação à sondagem inicial e conseguimos atingir o objetivo de 88% dos estudantes respondendo de maneira satisfatória a primeira questão.

Para não haver uma discrepância dos dados e reduzir possíveis flutuações devido a heterogeneidade das turmas, faremos uma análise total dos dados como se fossem uma única turma e com isso temos os seguintes dados para a primeira questão que estão descritos no gráfico 6. Seguindo a análise com esse parâmetro pudemos evidenciar uma melhoria de aproximadamente 26,47% no índice de respostas esperadas para esta questão, atingindo 86% dos estudantes.

Para a questão número 2, foi necessário um ajuste com relação à sondagem inicial, logo, teremos uma relação com as questões 2 e 3 da sondagem final, pois a pergunta foi desmembrada esperando que os estudantes pudessem compreender melhor o comando e termos dados mais confiáveis para esta pesquisa.

Os estudantes da turma A tiveram um aumento considerável na precisão das informações colocadas. Considerando a relação descrita no parágrafo acima, tivemos um aumento de aproximadamente 77,3% no número de respostas corretas e atingindo 78% dos estudantes desta turma.

Repetindo a análise para a turma B obtivemos informações que mostram um aumento de aproximadamente 40,6% na incidência de respostas corretas e o número de estudantes que acertaram esta questão após a aplicação da sequência didática foi de impressionantes 90%.

Analisando as duas turmas juntamente, os resultados mostraram um aumento de 55% nos indicadores de respostas adequadas e coerentes e conseguimos atingir um número de 84% dos estudantes que apresentaram respostas satisfatórias.

A questão 3 da sondagem inicial é equivalente à questão número 4 da sondagem final, então os dados serão extraídos desta relação. Para a turma A, foi possível perceber que houve um aumento de 75% nas respostas corretas e conseguimos atingir, na sondagem final, 84% dos estudantes desta turma.

Para a turma B, os resultados mantiveram a mesma linha de comportamento, verificamos que o aumento foi um pouco menor, pois os estudantes tinham se saído levemente melhor nas sondagens iniciais o que nos rendeu um aumento de 37,5% nos índices das respostas consideradas adequadas e 88% dos estudantes conseguiram atingir o que era esperado deles.

Fazendo a análise conjunta, obtivemos um crescimento de aproximadamente 42,9% no indicador de acerto das questões e conseguimos abranger 80% dos alunos dentro do esperado para este projeto.

A questão 4 da sondagem inicial é equivalente às questões 5 e 6 da sondagem final, logo, repetiremos o método da análise feita na questão número 2.

Para a turma A, após uma relação de proporcionalidade feita devido ao desmembramento de questões, conseguimos um resultado que cresceu cerca de 53,7% com relação a parte inicial da sequência didática e conseguimos abranger 86% dos estudantes nessa categoria.

No caso da turma B, após mesmo padrão adotado pra esta questão na turma A, tivemos um crescimento no número de respostas adequadas e coerentes em torno de 42,9% e conseguimos enquadrar 80% dos estudantes nesta análise.

Continuando com a análise conjunta, é possível perceber que o crescimento combinado foi de aproximadamente 53,7% e tivemos 83% dos estudantes incluídos nos grupos das respostas esperadas após a aplicação da sequência didática.

Finalizando este processo, teremos uma relação entre a questão número 5 da sondagem inicial com a número 7 da sondagem final, pois foi necessária uma adequação de linguagem para que os estudantes pudessem compreender melhor o que se estava pedindo na questão.

Para a turma A, tivemos um aumento significativo, porém, conforme relatado no parágrafo anterior, esse aumento de 633,33% se deu devido a pergunta não ter sido feita de forma correta, e quando isso foi feito conseguimos verificar que 88% dos estudantes compreenderam o que era pedido.

Para a turma B, pelas mesmas razões supracitadas, tivemos um aumento de 600% nos índices, logo, para fins de análise, utilizaremos o número de estudantes que conseguiram atingir o que era proposto foi de 84%.

Finalizando com uma análise conjunta, verificamos que, na média, houve um aumento de aproximadamente 616,6% e conseguimos englobar 86% dos estudantes após a reformulação da questão.

Com esses dados, podemos perceber que existiram, sim, indícios de aprendizagem significativa para as duas turmas, porém como os números mostraram uma flutuação muito elevada, fizemos uma segunda aplicação. Vale ressaltar aqui que o objetivo não é verificar qual se uma turma conseguiu “tirar a maior nota” que a outra, mas sim, verificar se as turmas apresentaram um melhor desenvolvimento durante o processo de aplicação desta sequência didática em forma de UEPS.

Na seção seguinte deste trabalho, analisaremos como foi o processo de aplicação desta mesma sequência didática, aplicada online, no cenário pandêmico do ano de 2020 e verificaremos se existem semelhanças e/ou diferenças no processo.

#### **6.4 Contexto da segunda aplicação da UEPS (Virtual)**

Durante o ano de 2020 passamos por uma pandemia mundial iniciada na China que afetou drasticamente todos os países em diversos ramos de atuação e com a educação, não foi diferente. Em Brasília, no dia 12 de março de 2020, o governador do Distrito Federal assinou um decreto suspendendo as aulas por 7 dias, podendo ser prorrogado por mais 7 dependendo do progresso da transmissão da COVID-19. O resultado disso foi que as escolas do DF ficaram “fechadas” por quase seis meses até que o retorno, que foi feito de maneira gradativa, fosse autorizado. Porém, as escolas públicas escolheram não retornar devido ao grande risco de infecção dos alunos e funcionários. Para isso, juntamente com a orientadora desta dissertação, tivemos que ajustar o produto para que pudéssemos aplicá-lo de maneira virtual para os estudantes.

A razão da escolha da UEPS é a mesma que foi utilizada para a primeira aplicação, tendo em vista que foi necessária uma adaptação para o ensino remoto e realizamos o processo em outra instituição e tivemos que abranger estudantes do 6º ano do ensino fundamental ao 3º ano do Ensino médio.

As alterações foram simples, pois ao invés das aulas presenciais, os slides foram utilizados para gravar as aulas que foram disponibilizadas para os estudantes através da plataforma *YouTube*. Obviamente fez se necessário uma adequação também nos

parâmetros de correção, uma vez que existe naturalmente diferenças de níveis de entendimento sobre a astronomia entre os estudantes do Ensino Médio e do Ensino Fundamental.

A aplicação nessa escola foi certamente mais favorável pois, dado seu processo organizacional, foi possível obter melhores resultados do ponto de vista estatístico. O produto educacional foi aplicado em todos os segmentos...É importante salientar que tivemos que considerar o nível cognitivo dos estudantes e suas capacidades para as turmas de cada segmento.

A aplicação do produto educacional foi, assim, ampliada e atingimos as turmas, com respectivos números de estudantes:

- i) Seis turmas de sexto ano, com 35 a 40 alunos por sala;
- ii) Sete turmas de sétimo ano, com 36 a 42 alunos por sala;
- iii) Sete turmas de oitavo ano, com 35 a 40 alunos por sala;
- iv) Oito turmas de nono ano, com 38 a 45 alunos por sala;
- v) Seis turmas de primeiro ano do Ensino Médio, com 35 a 42 alunos por sala;
- vi) Seis turmas de segundo ano do Ensino Médio, com 36 e 40 alunos por sala;
- vii) Duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio, com 38 e 42 alunos por sala;

Tendo em vista as informações acima, foram geradas uma grande quantidade de dados para análise que serão separadas por anos dos segmentos supracitados na próxima subseção deste trabalho.

## **6.5 Análise e avaliação da segunda aplicação da UEPS (Virtual).**

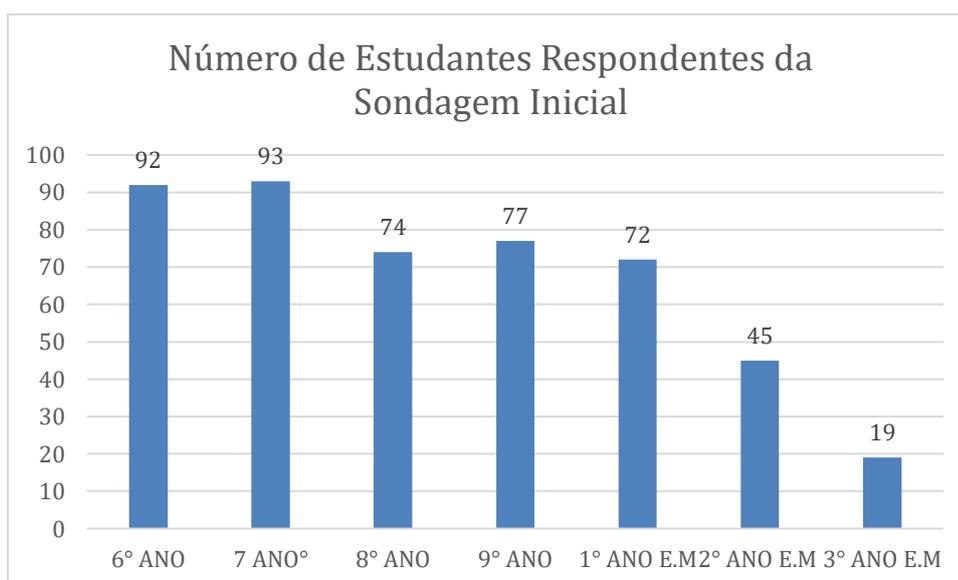
Nesta seção faremos primeiramente uma análise geral da aplicação da UEPS com todos os respondentes das questões objetivas que foram inseridas no processo das aulas virtuais. Vale ressaltar que esse ajuste foi necessário diante do cenário da pandemia de COVID-19 em que as escolas precisaram operar de maneira remota.

No processo de avaliação das aulas da sequência didática, foram inseridas perguntas básicas a respeito das aulas gravadas (encontros assíncronos) para que os estudantes fizessem uma breve avaliação sobre o assunto.

Para a primeira aula da aplicação da sequência didática, fizemos alguns questionamentos para a análise geral, tendo em vista que devemos levar em consideração o nível cognitivo dos estudantes de acordo com a série em que ele está matriculado.

Neste trecho da dissertação, faremos uma leitura geral de todas as respostas e em seguida faremos uma leitura individual separadas por turmas.

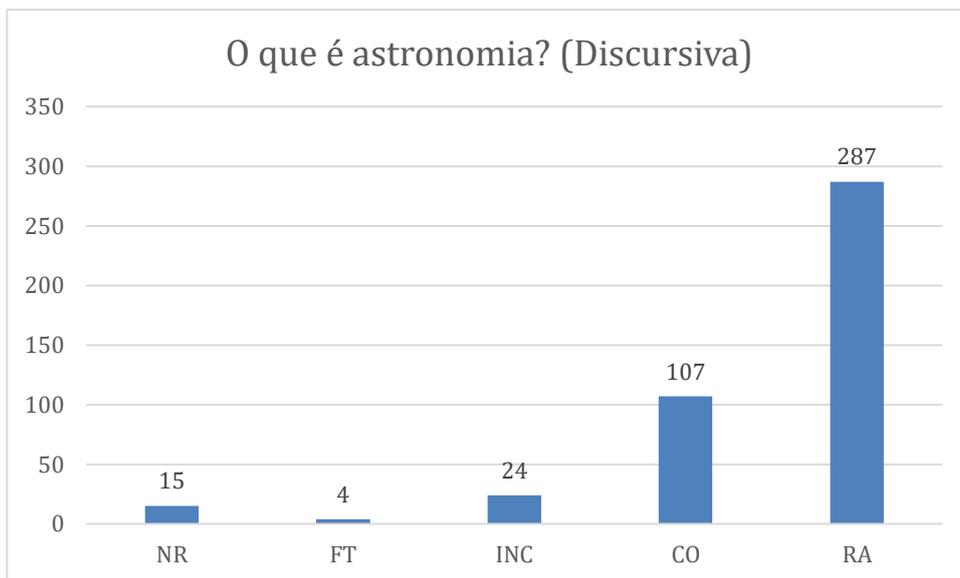
A fase da sondagem inicial era composta inicialmente por uma parte de identificação, composta pelas seguintes informações: nome completo, e-mail, série e turma. Neste caso, tivemos os seguintes dados que serão descritos abaixo em forma de gráfico,



**Gráfico 8** - Número de respondentes aptos a participar da UEPS

Com esses dados mostrados no gráfico acima, poderemos fazer uma leitura para obtermos um panorama sobre os estudantes que foram submetidos a aplicação desta sequência didática. Isso serve de base para termos uma noção de como os estudantes percebem a astronomia e o quanto eles conhecem sobre este assunto em cada nível de escolarização.

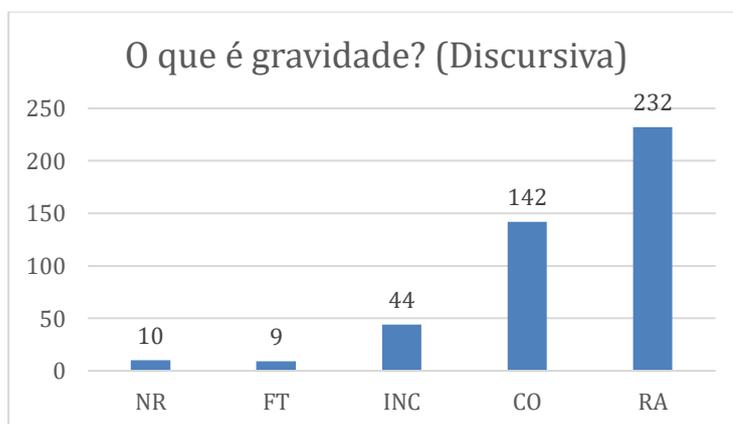
Os gráficos abaixo mostrarão, de acordo com a classificação descrita na seção 5.1 deste trabalho, os resultados da sondagem inicial aplicada para os estudantes. Lembrando que nesta parte, faremos uma análise de todos os estudantes de maneira geral e em seguida durante a evolução dos processos faremos uma análise, separadamente, por turma e no final uma análise geral por turmas.



**Gráfico 9** - Tabulação das respostas da primeira questão.

O gráfico acima tinha o intuito de avaliar os conhecimentos sobre a própria definição conceitual de astronomia. Foi detectado um grande número de respostas adequadas, porém, também foi percebido que os alunos utilizaram a internet para procurar as respostas, mesmo que tenhamos feito uma solicitação durante a proposição da sequência didática para que tentassem responder aos questionamentos por conta própria. Acredito que isso se deve ao fato de que os estudantes “têm medo” e/ou não gostam de errar por razões punitivas de menções ou notas. É necessário, então, ressaltar aos estudantes que isso não é uma prova, e sim um instrumento de aprendizagem. Devido ao fato de que não tivemos um contato direto com os estudantes, talvez a importância desta orientação não tenha ficado tão clara.

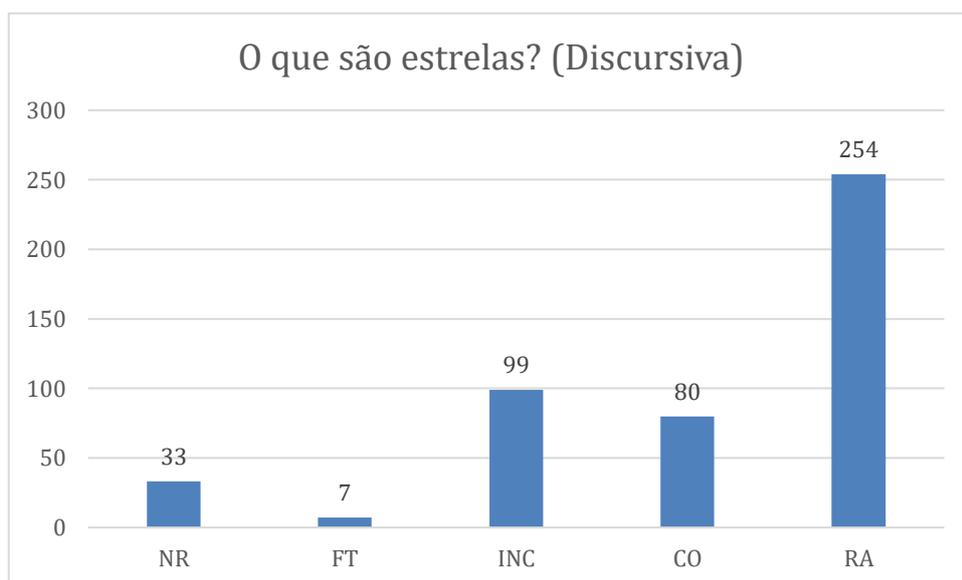
Para a segunda questão obtivemos os seguintes dados:



**Gráfico 10** - Tabulação das respostas da segunda questão

Novamente houve a presença de pesquisas na internet de respostas, porém, diminuíram em comparação com a primeira pergunta. Isso ocorre talvez seja pelo fato de que os estudantes já tinham um conhecimento prévio sobre este assunto, que é fundamental para a compreensão do conceito de Buracos Negros.

Para a terceira questão teremos um combinado de uma questão discursiva que será analisada da mesma maneira que as questões 1 e 2 e uma parte objetiva simples de respostas sim ou não.



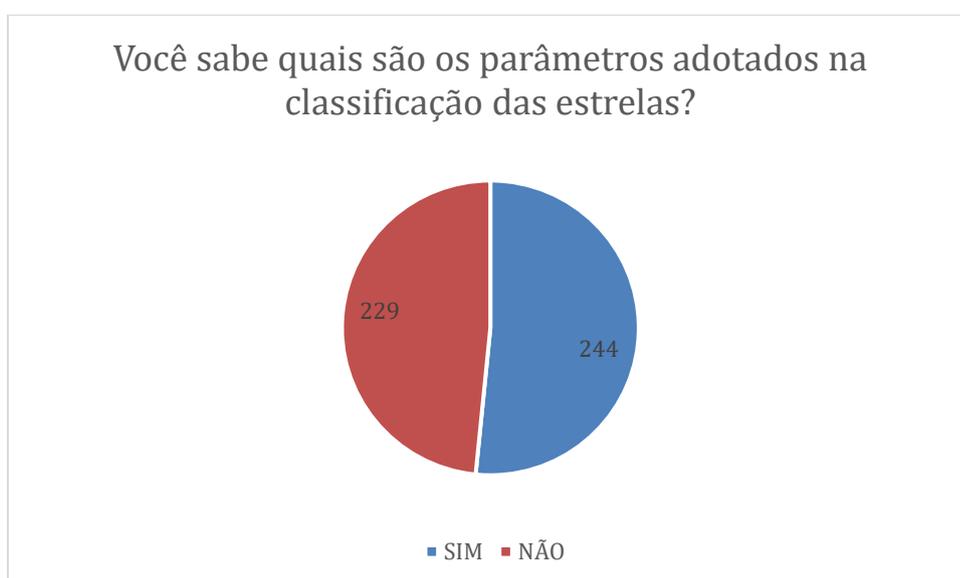
**Gráfico 11** - Tabulação das respostas da terceira questão.

Aqui percebemos que houve uma aproximação com o resultado da pergunta anterior no quesito de respostas adequadas, logo, percebemos que os estudantes ainda estão utilizando os sites de busca para responderem com a resposta certa. Um fato curioso que aconteceu aqui durante o processo de tabulação dos dados, foi o surgimento das crenças pessoais e /ou religiosas, pois, algumas respostas surgiram com base nas informações que as famílias passam para as crianças a respeito da criação de uma estrela quando ocorre a morte de um ente querido ou um animal de estimação.



**Gráfico 12** - Tabulação das respostas da quarta questão. (múltipla escolha)

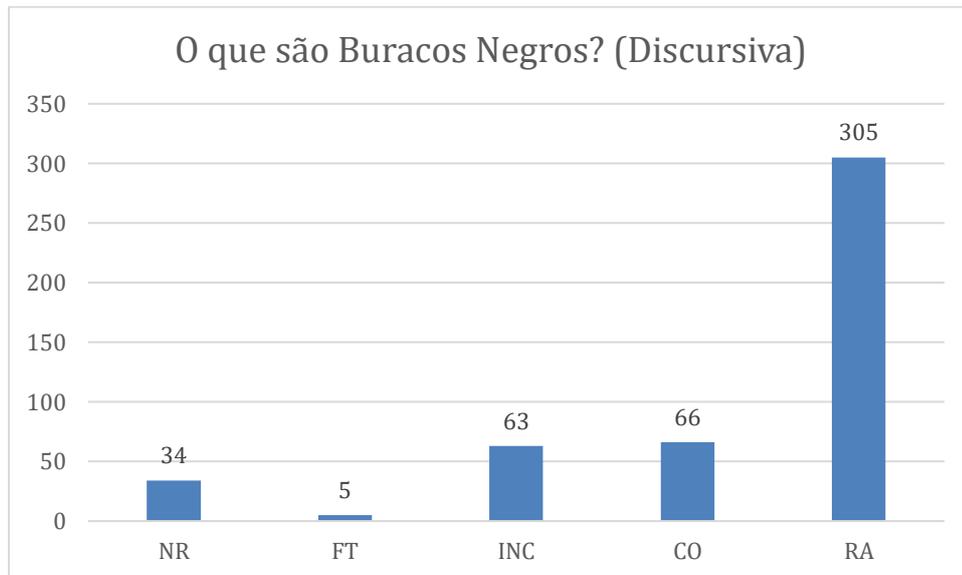
Transcrevendo os dados acima para a porcentagem, neste caso, teremos um valor de aproximadamente 52,2% dos estudantes sabendo como surgem as estrelas e 47,8% não sabem como esse processo acontece.



**Gráfico 13** - Tabulação das respostas da quinta questão

Neste caso tivemos um comportamento muito parecido com o do gráfico anterior, logo as porcentagens ficaram em aproximadamente 51,5% para Sim e 48,5% para não.

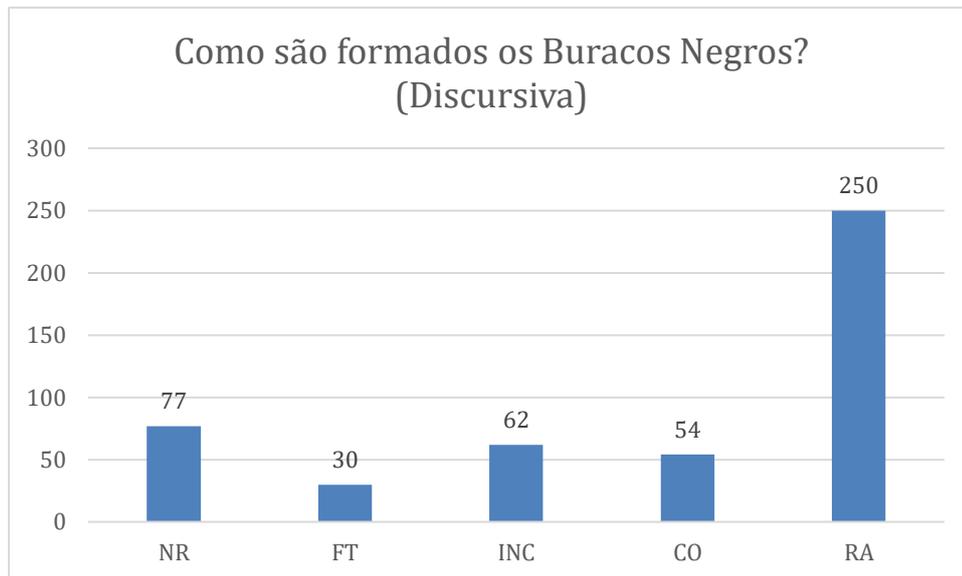
Na pergunta que se segue, visamos analisar se os estudantes conhecem o termo “Buraco Negro” e também se eles têm algum conhecimento científico a respeito do tema.



**Gráfico 14** - Tabulação das respostas da sexta questão.

Nesta questão foi percebido o maior índice, não somente de respostas copiadas da internet, mas também de respostas iguais entre os estudantes. Esperamos que neste processo de pesquisa, os estudantes tenham conseguido compreender o conceito de Buracos Negros.

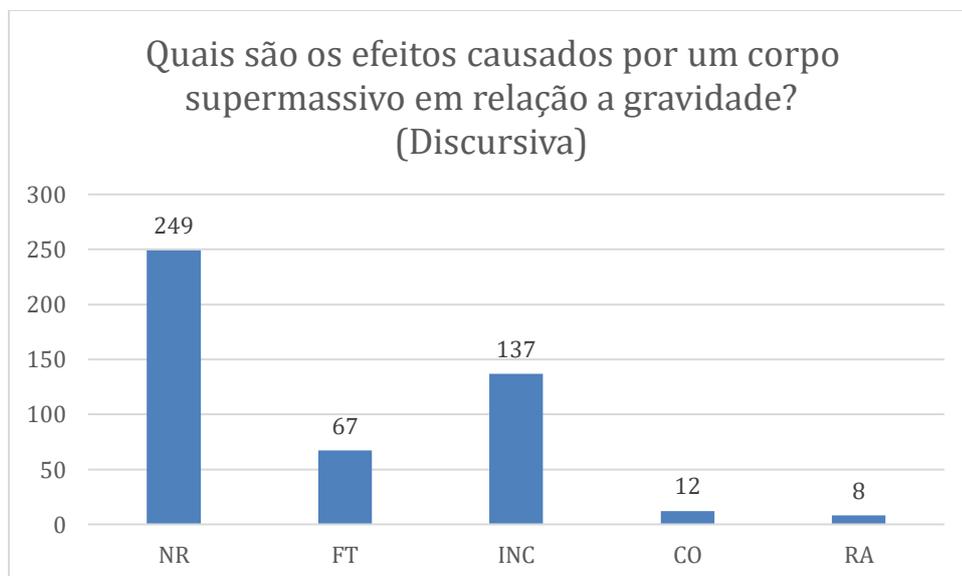
Na penúltima questão teremos um gráfico que visa compreender se o estudante possui conhecimento prévio sobre a formação dos Buracos Negros.



**Gráfico 15** - Tabulação das respostas da sétima questão.

Neste caso, houve muita honestidade nas respostas e foi possível perceber traços de respostas baseados em filmes de ficção científica e/ou documentários. Notou-se que muitas respostas foram escritas com citações do tipo “eu acho que...”, “não tenho certeza, mas...” e em muitos casos a ideia estava correta, mostrando assim que existe um conceito pré-estabelecido no estudante.

Para a última questão, verificamos que o grau de dificuldade da pergunta foi muito mais elevado, então, mostraremos os dados, e a análise será feita baseando-se nas respostas que mais se aproximaram do esperado.



**Gráfico 16** - Tabulação das respostas da oitava questão

Nas seções seguintes faremos a discussão por turmas dos resultados obtidos desde a Sondagem Inicial até a Sondagem Final. Espera-se que possamos verificar os indícios da aprendizagem significativa que é o objetivo proposto neste trabalho.

Durante o processo de sondagem final, fizemos alguns questionamentos considerados opcionais para os estudantes, tendo em vista que alguns deles não possuíam condições para fazer o que era solicitado. Verificaremos abaixo, nas tabelas mostradas nas próximas seções, como foram os resultados após o término da sequência didática aplicada para eles e fizemos algumas alterações nas perguntas em que até mesmo o comando tenha aparecido de maneira mais complexa. Tivemos as mesmas sete questões cujos enunciados estão listados abaixo:

- i) O que é astronomia?
- ii) Como são formadas as estrelas?
- iii) Como são classificadas as estrelas?
- iv) O que são Buracos Negros?
- v) Faça um desenho esquemático de um Buraco Negro representando as suas partes e se possível representar quais são os efeitos causados por ele no espaço-tempo. (RESPOSTA OPCIONAL)
- vi) Quais são os tipos de Buracos Negros de acordo com as suas características?
- vii) Como prevemos a existência de um Buraco Negro?

O intuito de alterar levemente as questões foi para que os estudantes pudessem nos fornecer respostas mais completas e fazer com que nossos resultados sejam mais próximos do esperado.

### **6.5.1 Produção e avaliação dos sextos anos.**

No intervalo das seções 5.4.1 até 5.4.7 faz-se necessária a separação por turmas, pois devemos analisar os dados de acordo com a capacidade cognitiva dos estudantes. Faremos aqui uma análise breve dos resultados da sondagem inicial e final dos estudantes e procuraremos investigar evidências ou indícios da aprendizagem significativa.

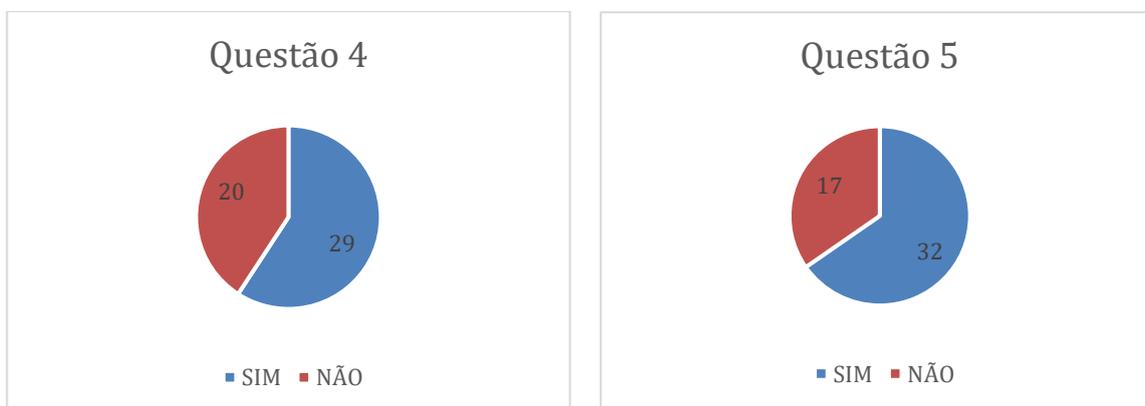
Primeiramente, mostraremos a tabela com as respostas dos estudantes, referentes ao processo de sondagem inicial. Esses foram os estudantes que cumpriram as premissas de aplicação do produto e suas respostas de acordo com a classificação da seção 5.1.

Para melhorar a visualização, transformaremos esses dados em uma tabela que sintetiza a sondagem inicial:

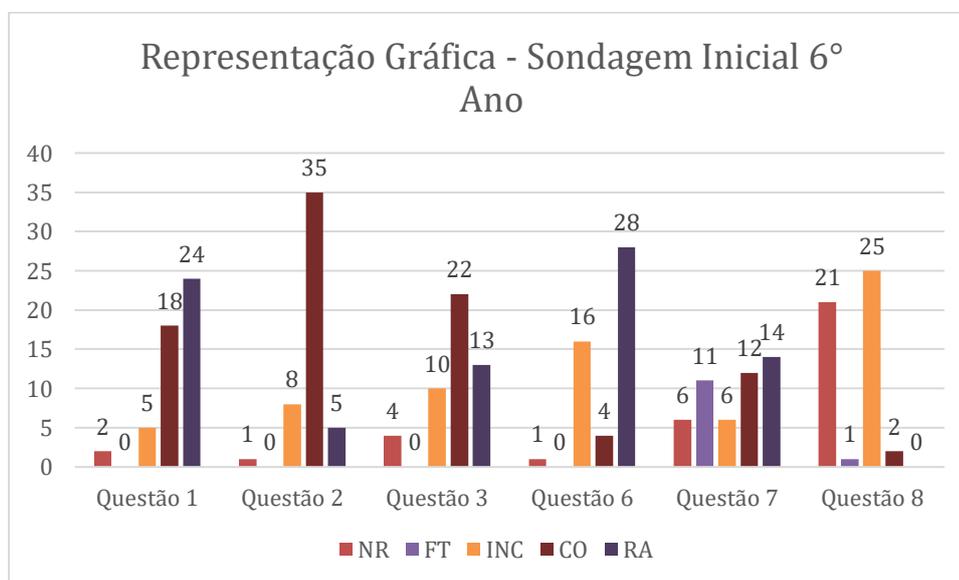
Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	2	0	5	18	24
2	1	0	8	35	5
3	4	0	10	22	13
6	1	0	16	4	28
7	6	11	6	12	14
8	21	1	25	2	0

**Tabela 20** - Tabulação das respostas do 6º ano – Sondagem Inicial.

As questões 4 e 5, por serem de alternativas “Sim” ou “Não”, serão deixadas em forma de gráficos para a análise futura em conjunto com a sondagem final.



**Gráfico 17** - Resultados das questões 4 e 5 para os sextos anos.



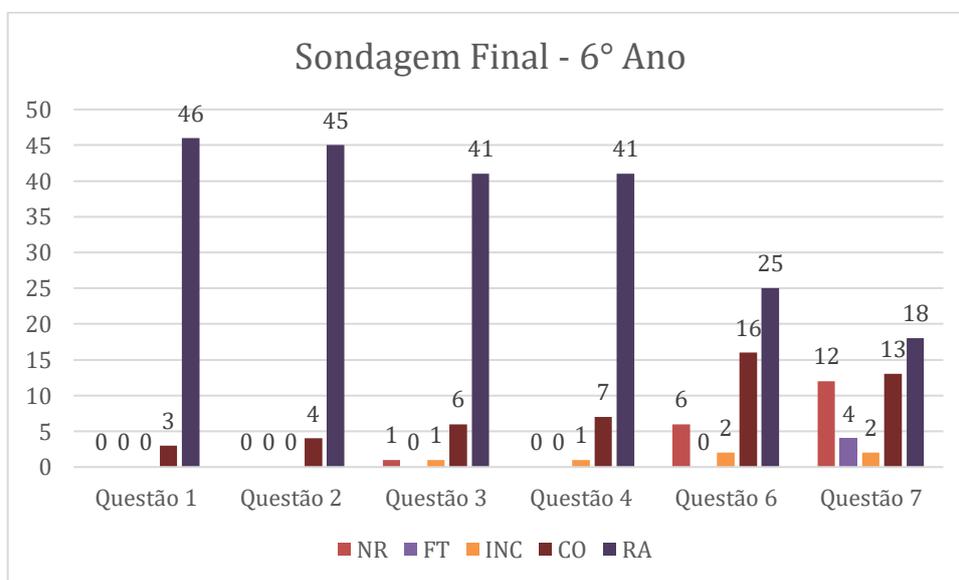
**Gráfico 18** - Resultados da Sondagem Inicial do 6º ano

Ao analisarmos os gráficos, pudemos perceber, assim como na análise geral, situações em que as respostas foram retiradas da internet na íntegra. Como isso pode influenciar o resultado do trabalho, faremos uma análise detalhada de cada uma das questões, reduzindo assim essa flutuação e aproximando o resultado da realidade.

Para a sondagem final obtivemos os seguintes resultados:

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	0	3	46
2	0	0	0	4	45
3	1	0	1	6	41
4	0	0	1	7	41
5	0	0	0	2	8
6	6	0	2	16	25
7	12	4	2	13	18

**Tabela 21** - Resultado da tabulação da produção do 6º ano – Sondagem final



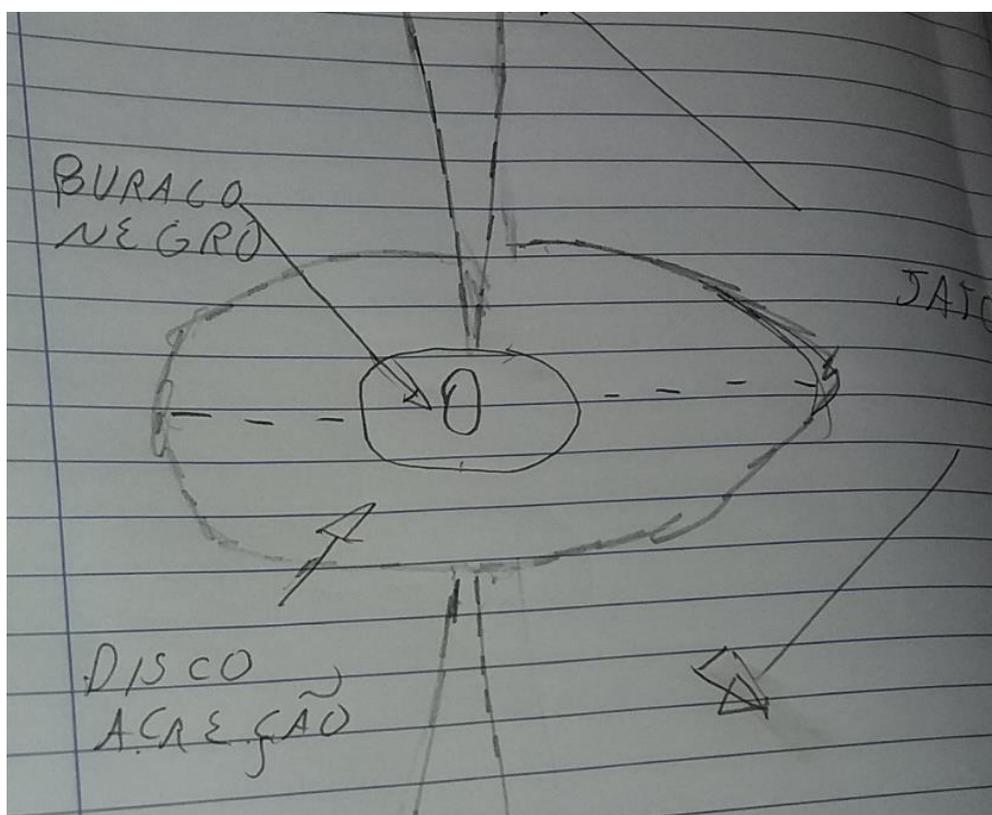
**Gráfico 19** - Resultados da Sondagem Final do 6º ano

Fazendo uma comparação direta entre a sondagem inicial e final, foi possível perceber um crescimento significativo para os estudantes do sexto ano, o que é bastante positivo, levando em consideração que “teoricamente” estes alunos não possuem o conhecimento necessário para o processo completo da sequência didática.

Ao analisar o gráfico 18 da sondagem inicial dos sextos anos, percebemos que tivemos 49 alunos elegíveis participando desta aplicação, e que logo de início tínhamos 42 estudantes respondendo as questões de maneira coerente ou adequada, o que totaliza

aproximadamente 75,7% dos estudantes. Neste caso, inicialmente tínhamos 24 (RA) e na sondagem final chegamos a 46 (RA), o que nos traz um crescimento de aproximadamente 91,66% no número de respostas consideradas satisfatórias e que 93,9% dos estudantes do 6º ano conseguiram atingir o objetivo em fornecer uma resposta correta para a pergunta solicitada.

A questão número 2, que pergunta o que é a gravidade, teve um índice de respostas ideais muito elevado, cerca de 81,6%, e para verificar isso foi feita uma alteração na questão, para que os estudantes fizessem um link com os Buracos Negros na questão número 5 da sondagem final. Neste caso, deixamos a quinta questão como opcional, pois envolve o envio de uma imagem e sabemos que muitos estudantes não tem acesso adequado a câmeras, celulares, computadores e de vez em quando até mesmo materiais escolares básicos como lápis e cadernos. Colocamos aqui, para exemplificar, alguns exemplos de respostas criadas pelos estudantes:



**Figura 25** - Representação gráfica de um estudante do 6º ano.

Neste caso, não foi possível verificar a relação da construção da imagem do Buraco Negro com a gravidade, o que era de se esperar, uma vez que os estudantes do

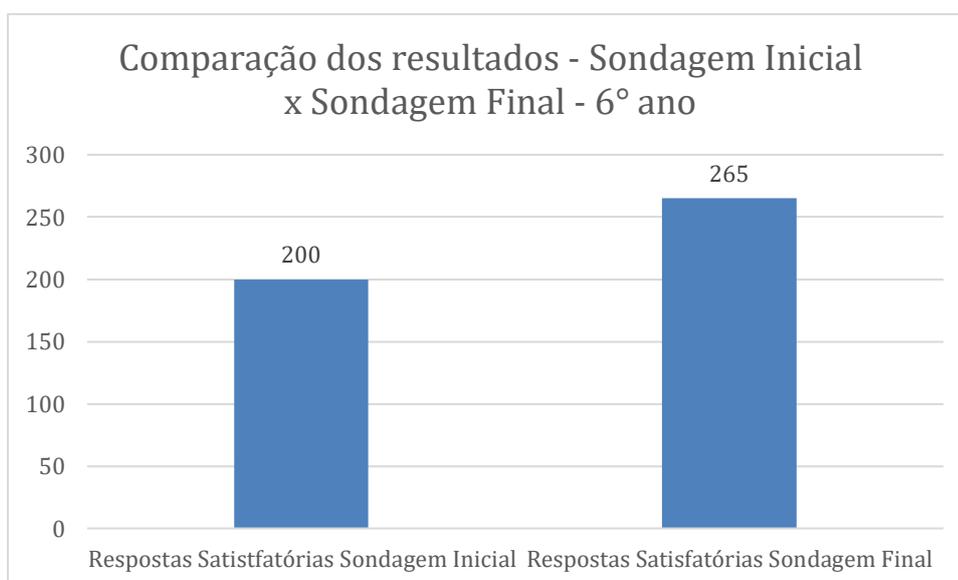
sexto ano ainda não tiveram o contato necessário com o conceito de gravidade e astronomia.

Para a análise das questões 3, 4 e 5 da sondagem inicial, fizemos um desmembramento para as questões 2 e 3 da sondagem final e os resultados ficaram distribuídos de acordo com os gráficos 18 e 19. Neles, vemos que houve um aumento de 7,5% no índice de acertos e uma melhora na escrita das respostas através dos números envolvidos no processo.

Para as questões 6 e 7 da sondagem inicial, fizemos uma análise com a questão 4 da sondagem final e os números obtidos foram de um aumento de 43,75% no indicador de respostas consideradas (CO) e (RA). Além disso, o número de alunos que conseguiu atingir um resultado satisfatório nesta pergunta foi de aproximadamente 93,9%.

A questão 8 da sondagem inicial será comparada com as questões 6 e 7 da sondagem inicial e, através desta comparação, conseguimos verificar que os resultados foram:

- i) Conseguimos elevar, proporcionalmente, o número de respostas adequadas e coerentes de 2 para 36;
- ii) Conseguimos colocar cerca de 73,5% dos estudantes com respostas satisfatórias para este projeto e obtemos um aumento de 32% no número destas respostas.



**Gráfico 20** - Comparação quantitativa dos resultados das Sondagens – 6º ano

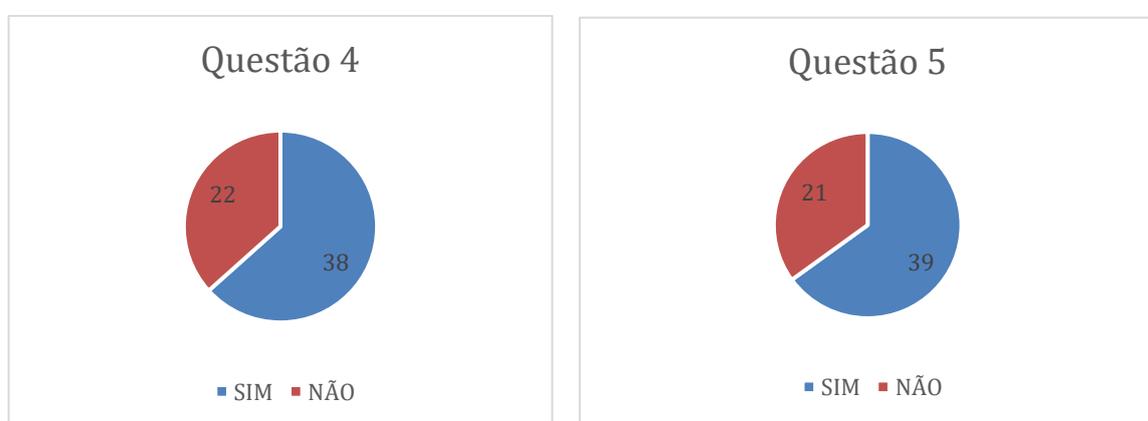
A análise dos dados puros nos mostra um processo de evolução do conhecimento dos estudantes, porém, devemos nos atentar ao fato de que os estudantes podem ter utilizado a internet como fonte de pesquisa, o que não é errado, apesar de terem sido orientados para não o fazer. A questão da avaliação dos estudantes, em ensino remoto, é ainda um grande desafio: como garantir um bom instrumento de verificação de aprendizagem, que seja aplicado remotamente, e que não seja sujeito à “colas”, seja pela interação entre colegas, seja pela consulta à materiais, principalmente da própria internet, ambiente onde eles realizam as atividades.

### 6.5.2 Produção e avaliação dos sétimos anos

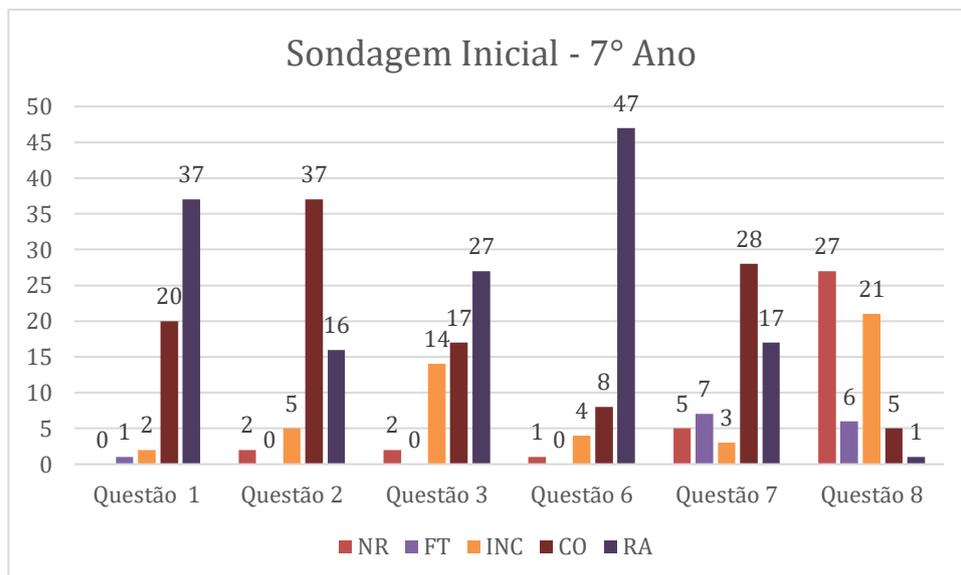
Para os sétimos anos, obtivemos os seguintes resultados.

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	1	2	20	37
2	2	0	5	37	16
3	2	0	14	17	27
6	1	0	4	8	47
7	5	7	3	28	17
8	27	6	21	5	1

**Tabela 22** - Tabulação dos resultados da sondagem inicial 7º ano



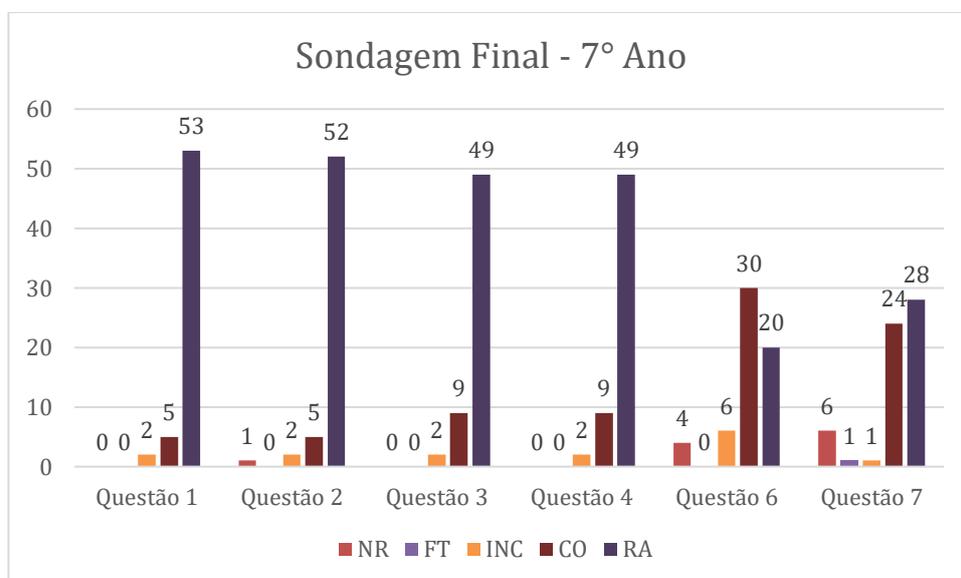
**Gráfico 21** - Respostas dos sétimos anos as questões 4 e 5 da sondagem inicial



**Gráfico 22** - Representação gráfica da sondagem inicial do 7º ano.

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	2	5	53
2	1	0	2	5	52
3	0	0	2	9	49
4	0	0	2	9	49
6	4	0	6	30	20
7	6	1	1	24	28

**Tabela 23** - Tabulação dos resultados da sondagem final 7º ano



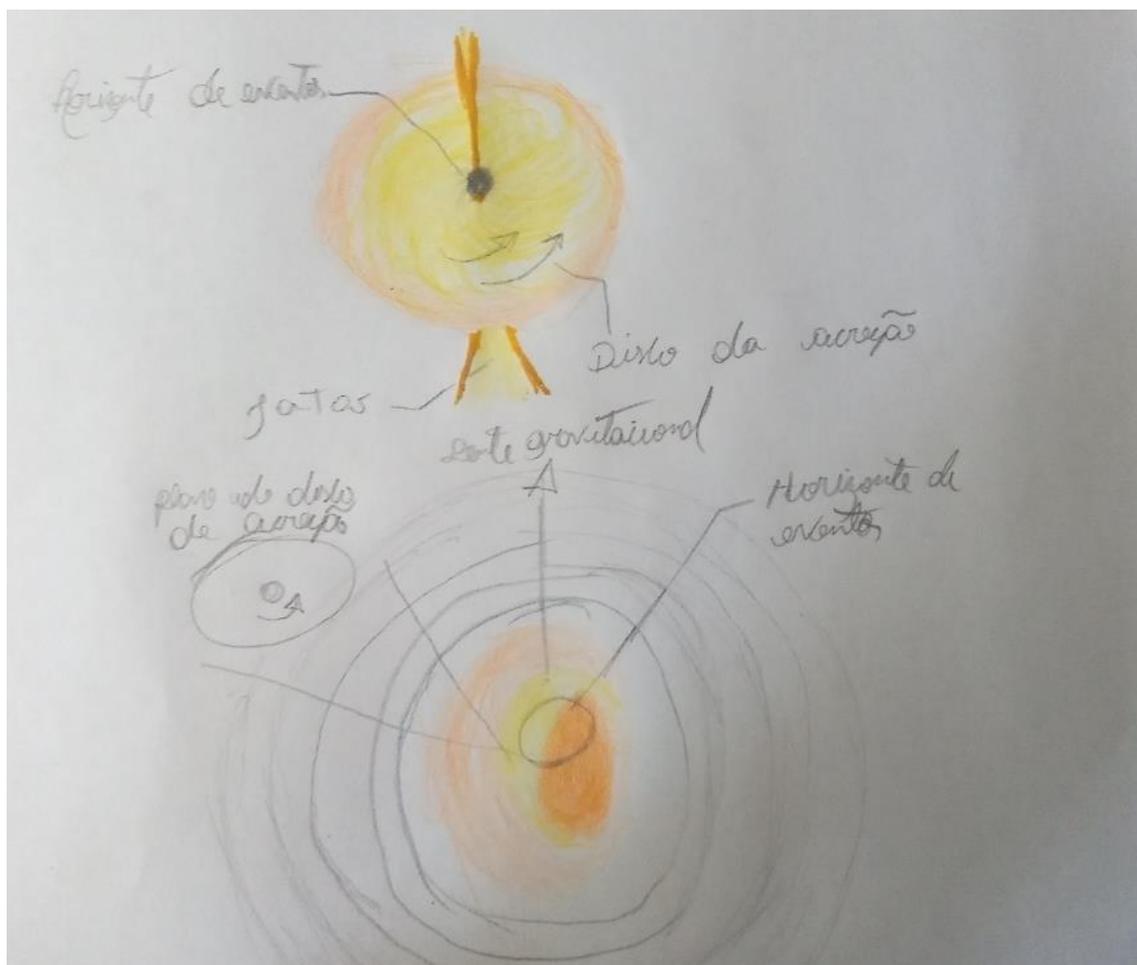
**Gráfico 23** - Representação gráfica da sondagem final do 7º ano.

Para a análise das turmas dos sétimos anos e subsequentes, os parâmetros adotados serão os mesmos utilizados para os alunos dos sextos anos, tendo em vista que buscamos uma padronização e a confiabilidade dos dados. Porém, devido ao fato dos estudantes do 7º ano estarem em uma série mais avançada, corrigiremos as questões com maior rigor acadêmico, e isso será aplicado de maneira progressiva aos anos que se seguem, durante a análise dos dados desta dissertação.

Para os parâmetros pré-definidos na subseção anterior, os números obtidos em comparação da sondagem inicial e final, resultaram em:

- i) Um aumento de aproximadamente 1,8% no número de questões respondidas de acordo com o que se era esperado. (Vale ressaltar aqui que os sétimos anos foram os estudantes que mais participaram de todo o processo)
- ii) 95% dos estudantes conseguiram chegar ao patamar esperado das respostas.

A questão número 2 da sondagem inicial nos mostrou que 88,33% dos estudantes tinham conhecimentos prévios sobre a gravidade, o que nos rendeu alguns desenhos muito interessantes a respeito dos Buracos Negros. Segue abaixo um exemplo deles:

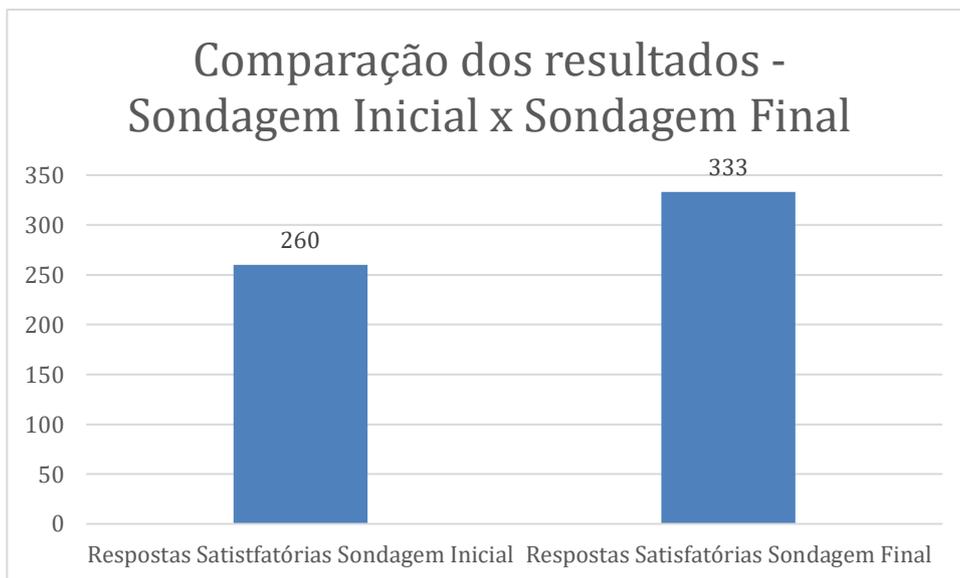


**Figura 26** - Representação gráfica de um estudante do 7º ano.

Avançando nas questões, para a análise sobre as informações sobre as estrelas, verificamos que houve um aumento de aproximadamente 30,7% no índice de respostas (CO) e (RA).

Continuando nossa interpretação dos resultados das questões 6 e 7, obtivemos um aumento de 16% na incidência de respostas consideradas corretas para esta faixa etária de aprendizagem e enquadramos cerca de 86,2% dos alunos no grupo de respondentes.

Finalizando a análise de dados desta subseção com a questão 8, verificamos que após a alteração do comando da pergunta, 85% dos estudantes conseguiram um resultado satisfatório. Os argumentos melhoraram e a escrita com rigor científico também, e pudemos perceber que houve um desenvolvimento por parte dos estudantes no que tange esses dois pontos.



**Gráfico 24** - Comparação quantitativa das sondagens - 7<sup>o</sup>s anos

Seguimos, nas próximas subseções, com análise semelhante, para verificar se o comportamento dos estudantes dos próximos anos se mantém parecido, ou se será diferente.

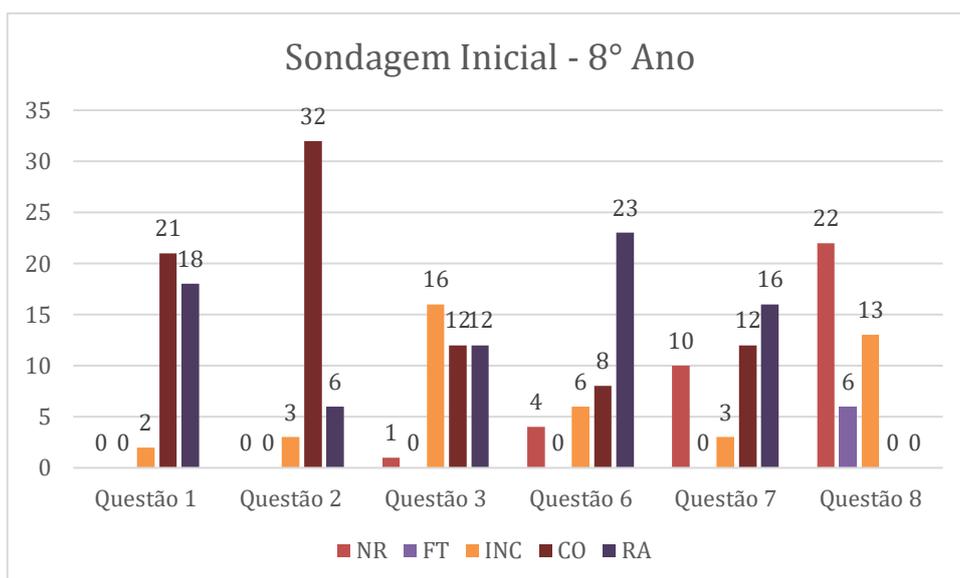
### 6.5.3 Produção e avaliação dos oitavos anos

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	2	21	18
2	0	0	3	32	6
3	1	0	16	12	12
6	4	0	6	8	23
7	10	0	3	12	16
8	22	6	13	0	0

**Tabela 24** - Tabulação da sondagem inicial do 8<sup>o</sup> ano



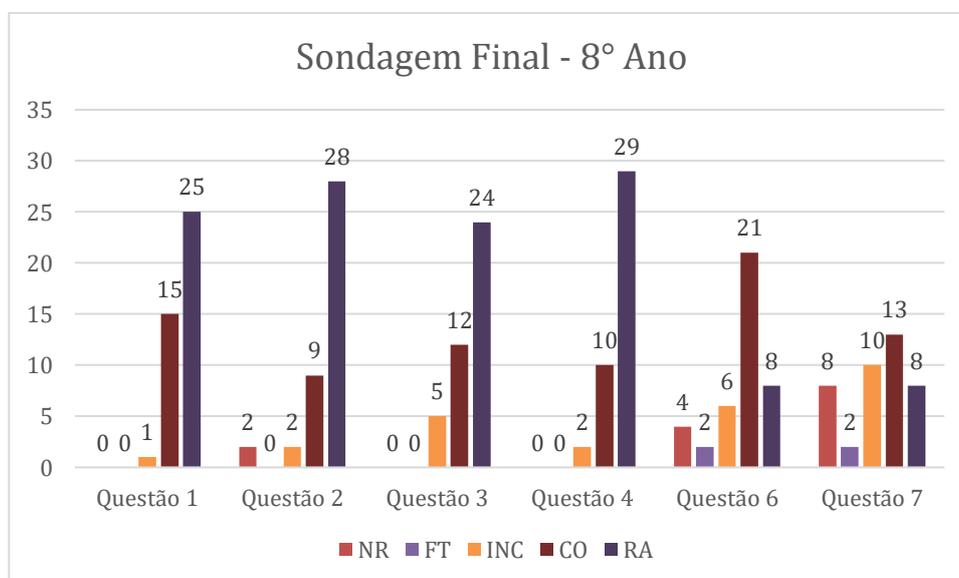
**Gráfico 25** - Respostas dos estudantes do 8<sup>o</sup> ano as questões 4 e 5.



**Gráfico 26** - Tabulação das respostas da sondagem inicial do 8º ano.

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	1	15	25
2	2	0	2	9	28
3	0	0	5	12	24
4	0	0	2	10	29
6	4	2	6	21	8
7	8	2	10	13	8

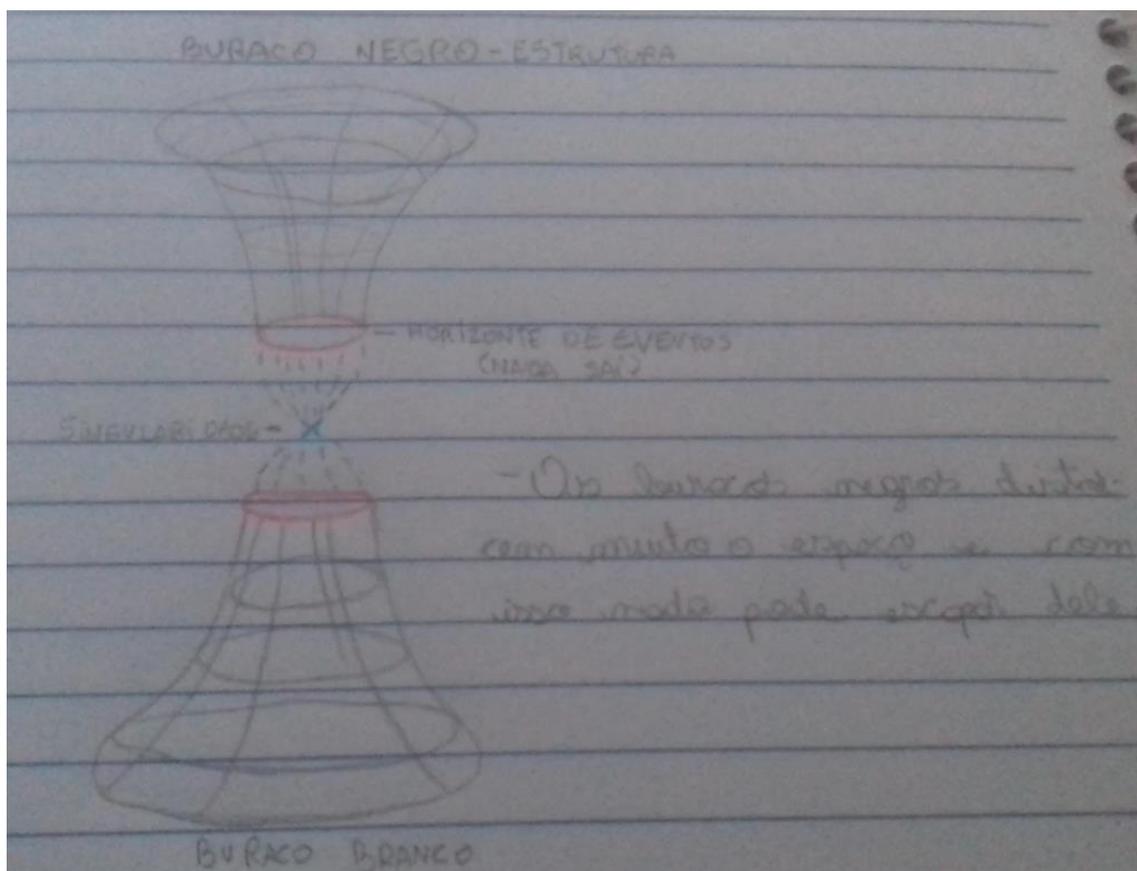
**Tabela 25** - Tabulação das respostas da sondagem final – 8º ano



**Gráfico 27** - Resultados da sondagem final dos 8º anos.

Dando início a análise dos dados dos estudantes dos oitavos anos, verificamos que na primeira questão houve um aumento de “apenas” 2,5% no indicador das respostas corretas, o que é previsível tendo em vista que os estudantes já tiveram um contato maior com os conceitos de astronomia. Vimos também que na sondagem final, 97,6% dos estudantes estavam fornecendo respostas consideradas corretas para o processo da aplicação da sequência didática.

Seguindo para a questão número 2, ficou evidente na sondagem inicial, que quase 93% dos estudantes já conheciam, de maneira coerente, o conceito de gravidade, logo os resultados da questão número 5 ficaram muito bem representados em seus desenhos conforme a imagem abaixo.



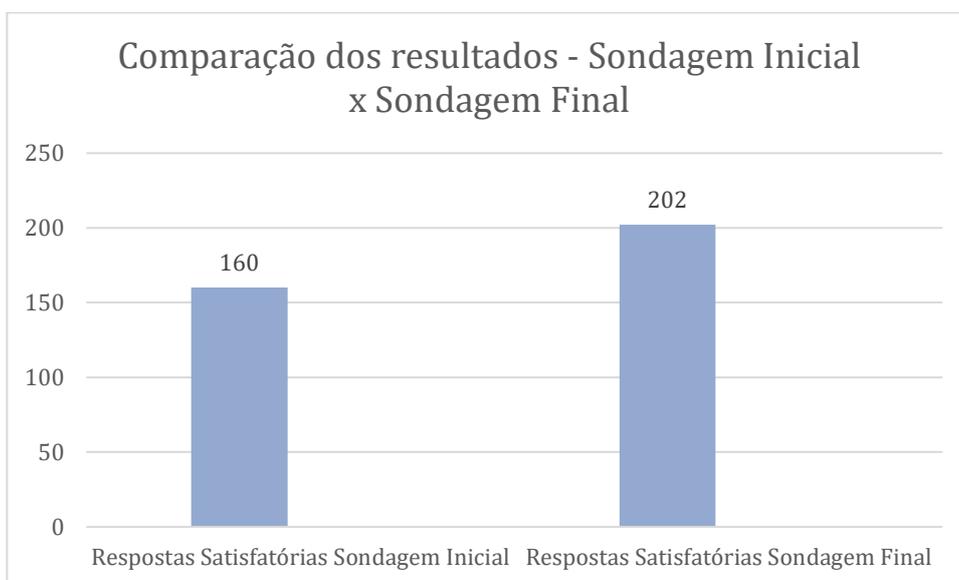
**Figura 27** - Representação gráfica de um estudante do 8º ano.

Nesta representação, pudemos perceber já evolução do conceito do espaço-tempo e conseqüentemente a relação de corpos massivos com a gravidade, o que nos mostra que o conhecimento adquirido se torna mais elaborado à medida que se avança na série em que o produto educacional é aplicado.

Avançando para as questões 3, 4 e 5, obtivemos os dados que foram comparados com as questões 2 e 3 da sondagem final e foi possível observar um aumento de aproximadamente 52,1% nos índices de respostas coerentes e adequadas, o que faz com que 89% dos estudantes ao final do processo tenham conseguido responder adequadamente essas questões, nos proporcionando resultados satisfatórios até então.

Para as questões 6 e 7, os indicadores das respostas esperadas subiram em torno de 52% e colocamos cerca de 95% dos estudantes com respostas consideradas adequadas ao comando da questão na sondagem final.

Para finalizar, verificamos que aproximadamente 61% dos estudantes conseguiram responder adequadamente às questões 6 e 7 da sondagem final, que faziam relação com a questão 8 da sondagem inicial.



**Gráfico 28** - Comparação quantitativa das sondagens do 8º ano.

A partir da próxima subseção será perceptível o decréscimo do número de participantes, o que poderá afetar os valores de maneira significativa.

#### 6.5.4 Produção e avaliação dos nonos anos

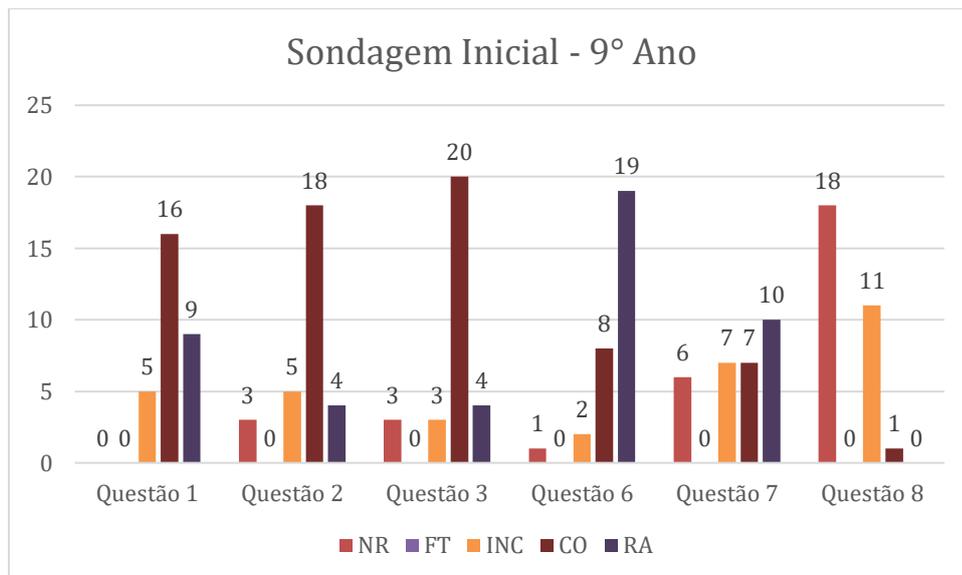
Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	5	16	9
2	3	0	5	18	4
3	3	0	3	20	4
6	1	0	2	8	19
7	6	0	7	7	10

8	18	0	11	1	0
---	----	---	----	---	---

**Tabela 26** - Tabulação da sondagem inicial 9º ano



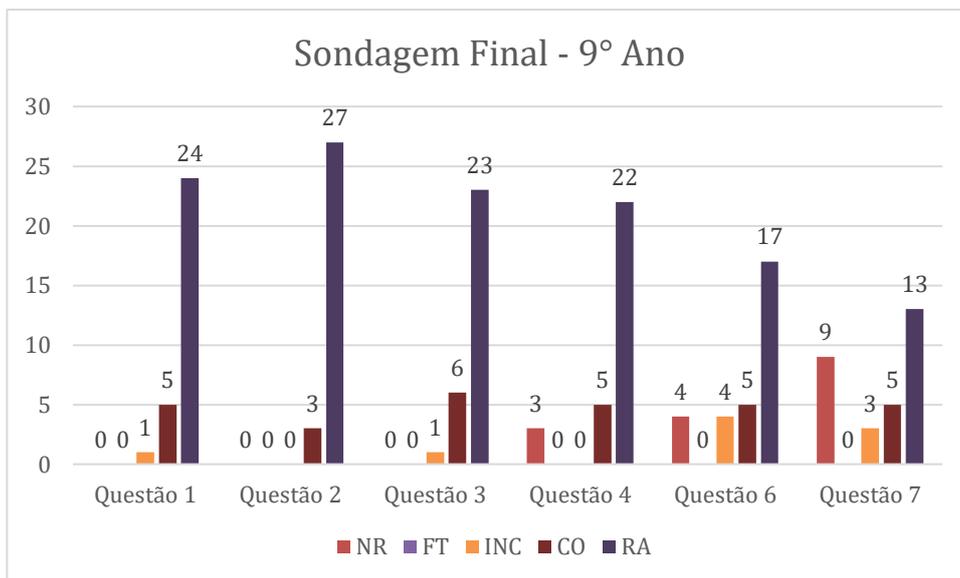
**Gráfico 29** - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5.



**Gráfico 30** - Resultados da sondagem inicial do 9º ano.

Questão	NR	FT	INC	CO	RA	
1	0	0	0	1	5	24
2	0	0	0	0	3	27
3	0	0	0	1	6	23
4	3	0	0	0	5	22
6	4	0	0	4	5	17
7	9	0	0	3	5	13

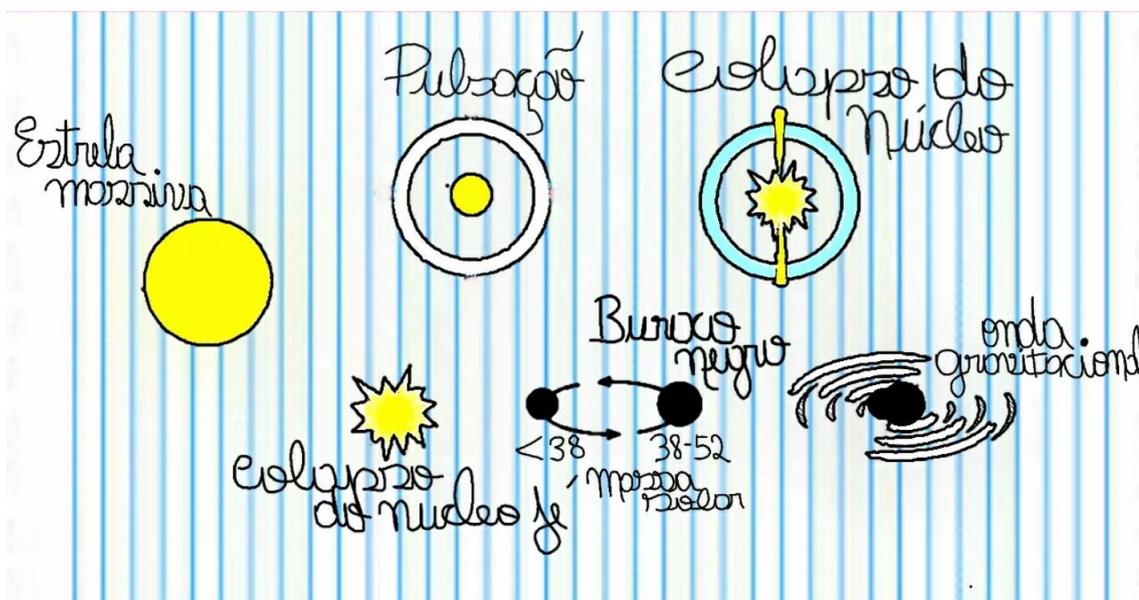
**Tabela 27** - Tabulação sondagem final 9º ano.



**Gráfico 31** - Resultados da sondagem final do 9º ano.

Dando início ao processo de análise e avaliação da sequência didática do 9º ano, a questão 1 dos dois questionários, nos forneceram que as respostas (CO) e (RA) aumentaram em torno de 16% e 96,66% dos estudantes conseguiram responder esta questão, de acordo com o que lhes era proposto.

Na questão 2, 73,33% dos estudantes conseguiu responder de maneira considerada satisfatória. Levando em consideração que este conceito é fundamental para o desenvolvimento da física nesta faixa escolar, esperávamos resultados um pouco melhores. Alguns estudantes conseguiram representar muito bem alguns processos de formação de um Buraco Negro, como foi o caso da estudante abaixo:



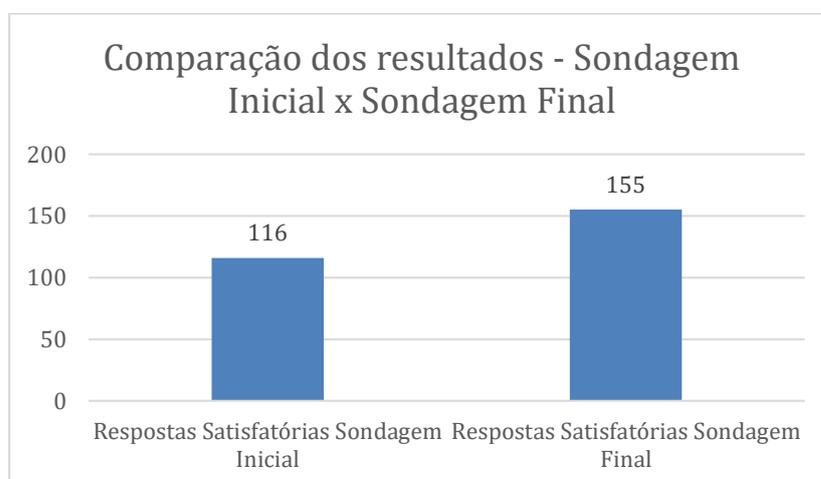
**Figura 28** - Representação gráfica de um estudante do 9º ano.

A imagem representa um avanço no contexto dos estudos de astronomia, o que nos mostra que existiu interesse por parte da estudante e que os vídeos foram efetivos.

Avançando para as três próximas questões, ao fazer uma verificação, percebemos que houve um aumento de 22,91% no número de respostas adequadas e que 96,66% dos estudantes estão conseguindo responder a estas duas perguntas de maneira satisfatória.

Para as questões 6 e 7 percebemos um aumento de 22,72% nas respostas (CO) e (RA) e conseguimos enquadrar 90% dos estudantes no grupo das respostas ideais esperadas pelo docente.

Finalizando a investigação do nono ano, verificamos que para as questões mais complexas deste questionário de sondagem final, conseguimos enquadrar, em média, 66,67% dos estudantes com respostas consideradas coerentes ou adequadas.



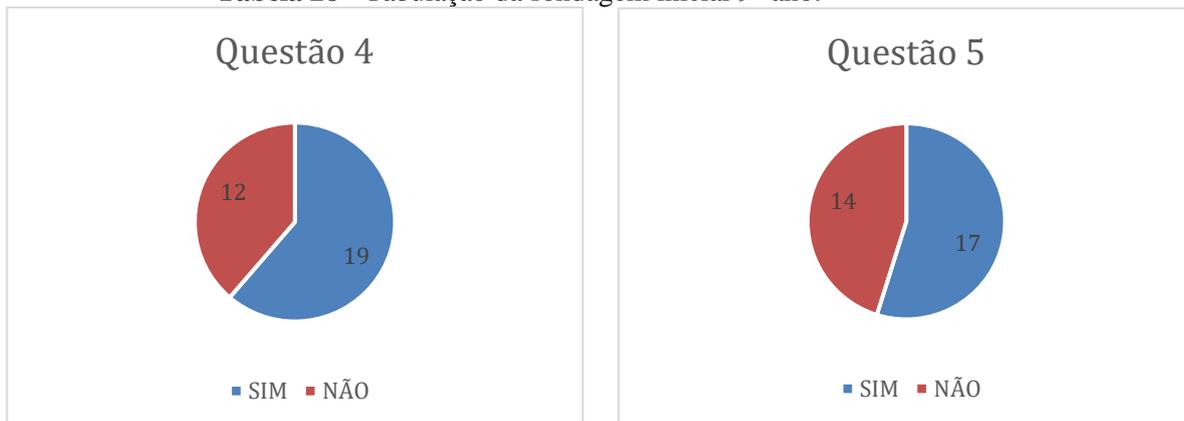
**Gráfico 32** - Comparação quantitativa das sondagens – 9º ano.

De maneira geral as turmas de sextos, sétimos, oitavos e nonos anos, conseguiram manter um padrão no comportamento, agora, nas próximas três subseções, verificaremos se o mesmo ocorre com o ensino médio.

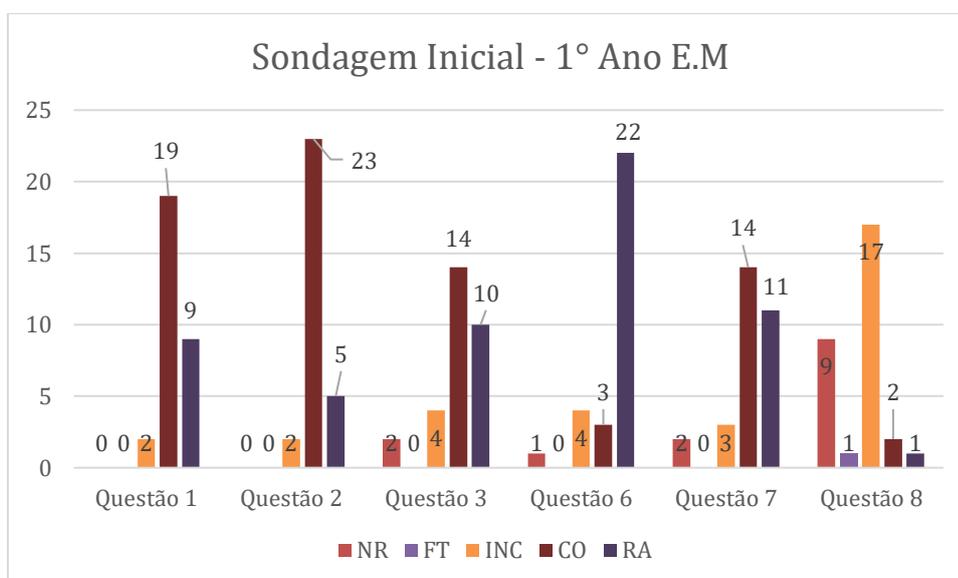
### 6.5.5 Produção e avaliação dos primeiros anos

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	2	19	9
2	0	0	2	23	5
3	2	0	4	14	10
6	1	0	4	3	22
7	2	0	3	14	11
8	9	1	17	2	1

**Tabela 28** - Tabulação da sondagem inicial 9º ano.



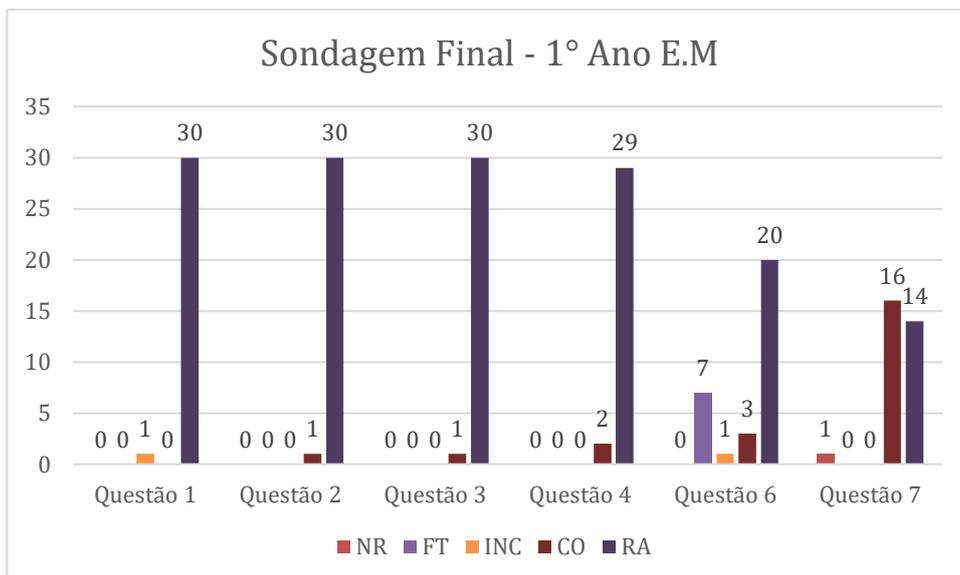
**Gráfico 33** - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5 – 1ºano do Ensino Médio



**Gráfico 34** - Resultados da sondagem inicial do 1º Ano do E.M

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	1	0	30
2	0	0	0	1	30
3	0	0	0	1	30
4	0	0	0	2	29
6	0	7	1	3	20
7	1	0	0	16	14

**Tabela 29** - Tabulação sondagem final 1º ano.

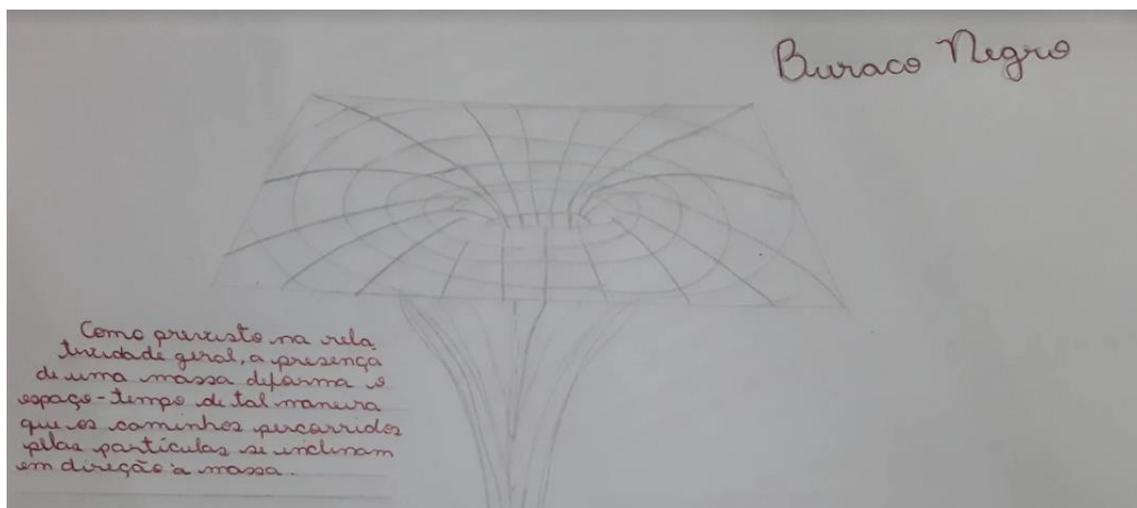


**Gráfico 35** - Resultados da sondagem final do 1º ano do E.M

Dando início à análise de dados de outro segmento, o Ensino Médio, presume-se que os estudantes devem ter um nível mais elevado de conhecimento acerca dos conceitos básicos de gravidade e astronomia.

Analisando-se a questão 1, pudemos perceber que os estudantes já se enquadravam, em sua grande maioria, nas respostas esperadas, então, a proporcionalidade do aumento deu-se muito no aumento de respostas consideradas coerentes para o patamar das respostas adequadas, de maneira geral. Englobando as mesmas premissas já vistas nas outras avaliações, o aumento foi de 7% englobando aproximadamente 97% dos estudantes na sondagem final.

Para a segunda questão, verificamos que 91% dos estudantes já estavam bem familiarizados com o conceito de gravidade e conseguiram responder como o esperado ao comando da questão. Pudemos visualizar também uma representação muito precisa da análise de um Buraco Negro conforme figura abaixo.

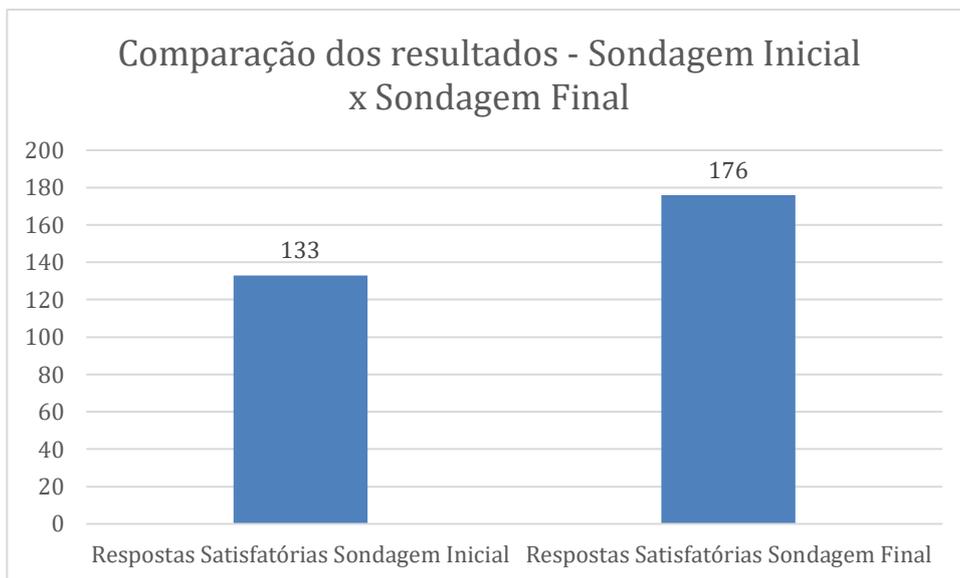


**Figura 29** - Representação gráfica de um estudante do 1º ano do E.M

Avançando na análise da turma do primeiro ano, para as questões 3, 4 e 5, é notório um aumento de 29,16% no processo de respostas adequadas e coerentes na sondagem final. Aqui, nestas questões 2 e 3, verificamos um fato curioso: 100% dos estudantes conseguiram atingir as respostas esperadas. Novamente fica aqui a indagação da pesquisa como ferramenta de aprendizagem. Será que os alunos pesquisam para de fato aprender ou somente responder um questionário? Fica esse questionamento para que os futuros pesquisadores respondam em suas carreiras acadêmicas.

Para as questões 6 e 7, obtivemos também 100% de aproveitamento nas respostas. com o mesmo aumento de 29,16% relacionados as questões 3, 4 e 5 do questionário.

Finalizando a análise de dados do primeiro ano do ensino médio, com as perguntas 6 e 7 da sondagem final, foi possível perceber que em média 85,5% dos estudantes conseguiram responder à estas questões de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos na sequência didática.



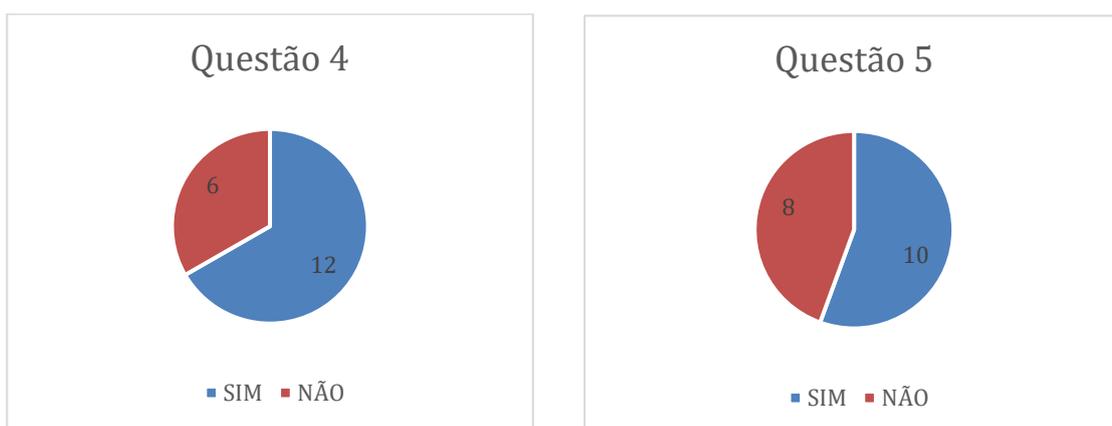
**Gráfico 36** - Comparação quantitativa das sondagens – 1º Ano E.M.

Finalizaremos agora a análise dos dados com a turma do segundo ano do Ensino Médio com poucos participantes, mas que mostraram alguns dados bem interessantes na seção subsequente.

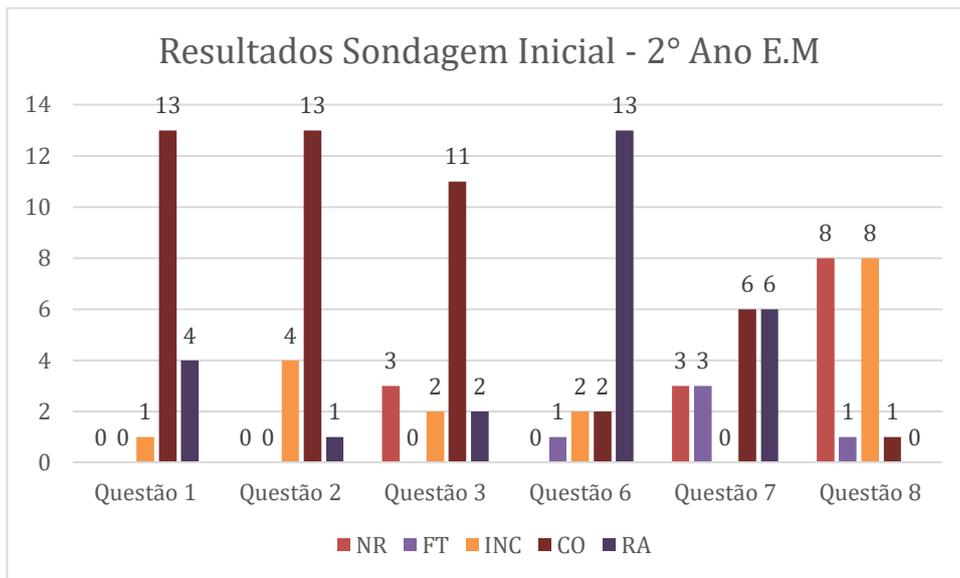
### 6.5.6 Produção e avaliação de avaliação dos segundos anos

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	1	13	4
2	0	0	4	13	1
3	3	0	2	11	2
6	0	1	2	2	13
7	3	3	0	6	6
8	8	1	8	1	0

**Tabela 30** - Tabulação sondagem inicial 2º ano.



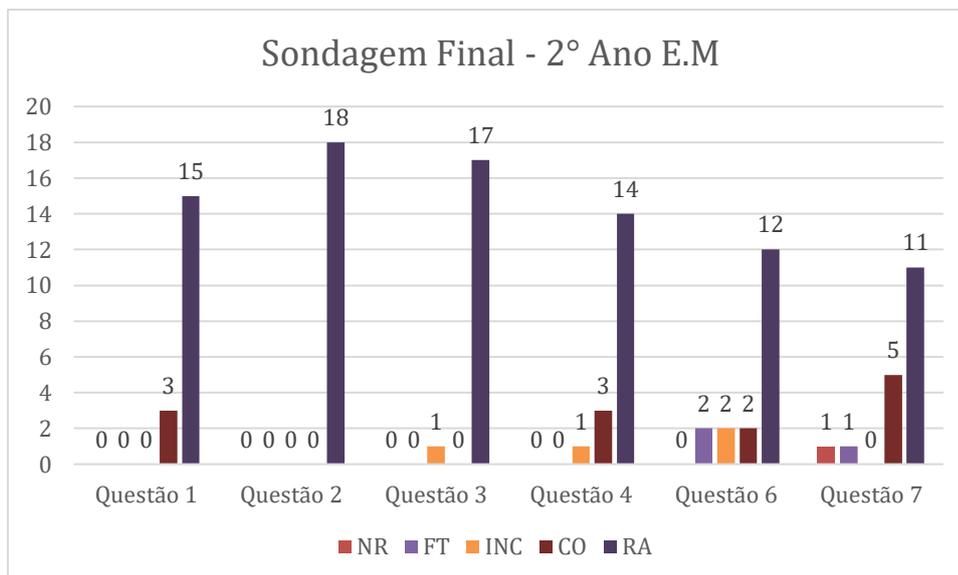
**Gráfico 37** - Respostas dos estudantes as questões 4 e 5 – 2º ano E.M



**Gráfico 38** - Resultados da sondagem inicial – 2º Ano E.M.

Questão	NR	FT	INC	CO	RA
1	0	0	0	3	15
2	0	0	0	0	18
3	0	0	1	0	17
4	0	0	1	3	14
6	0	2	2	2	12
7	1	1	0	5	11

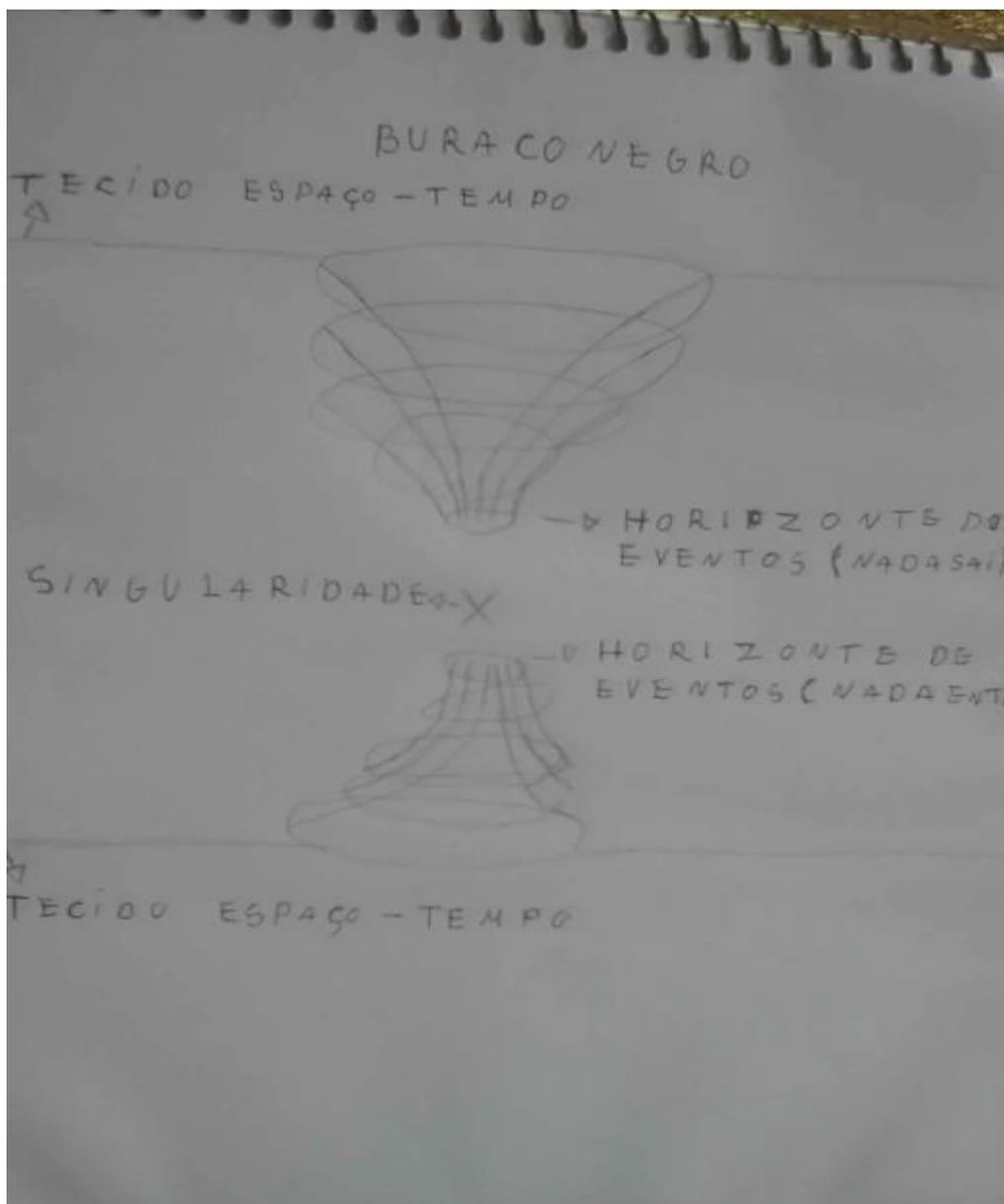
**Tabela 31** - Tabulação sondagem final – 2º Ano E.M



**Gráfico 39** - Resultados da sondagem final do 2º ano do E.M

Dando início à parte final da análise e tabulação dos dados deste trabalho, verificamos que a questão número 1 teve um aumento pouco significativo, novamente, a maior parte dos estudantes saíram de respostas coerentes (CO) para respostas adequadas (RA), de maneira geral o aumento foi sutil, 5,88% aproximadamente e enquadrando todos os estudantes no patamar do objetivo de aprendizado desta pesquisa.

Avançando para a questão número 2, verificamos que 82,3% dos estudantes já estavam cientes, e como era previsto, que soubessem o conceito de gravidade. Novamente, a proximidade com o conhecimento nos rendeu algumas respostas interessantes como a que segue abaixo.



**Figura 30** - Representação gráfica de um estudante do 2º ano do E.M

Continuando a análise das respostas, para a terceira questão, tivemos um crescimento de aproximadamente 34,61% e quase 95% dos estudantes conseguiram responder esta questão da forma esperada pelo docente.

Avançando para as questões 6 e 7, verificamos um aumento de 36% no número de respostas adequadas e coerentes e novamente 95% dos estudantes dentro dos parâmetros necessários para verificar qualitativamente e quantitativamente as evidências da aprendizagem significativas.

### **6.5.7 Produção e avaliação dos terceiros anos**

Infelizmente, o terceiro ano do ensino médio, por alguma razão, não conseguiu concluir a sondagem final, então, dentro dos parâmetros estabelecidos para esta pesquisa através da metodologia, não foi possível tabular os dados e nem obter uma análise geral desta turma.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação se propõe a fazer um estudo voltado para a verificação da promoção da Aprendizagem Significativa para os estudantes do ensino fundamental e médio, através da aplicação de uma sequência didática em forma de UEPS para a explicação dos Buracos Negros, utilizando-se de conceitos básicos de astronomia. Visando-se atingir as expectativas e objetivos, a fundamentação teórica deste trabalho foi construída baseando-se fortemente em dois autores, David P. Ausubel, fundador da teoria da Aprendizagem Significativa (2003) e Marco Antônio Moreira (2011a), que nos forneceu de maneira muito clara e objetiva o caminho para a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS.

Durante o processo de aplicação desta sequência didática, foi possível observar, de maneira qualitativa, por meio dos dados coletados através da plataforma Google Formulários, o desenvolvimento do interesse dos estudantes pela astronomia. Isso ocorreu mesmo no período de pandemia (2ª aplicação), quando o ensino ficou claramente defasado em virtude de diversas circunstâncias, sejam elas, sociais e/ou econômicas.

Um dado muito interessante foi extraído desta análise: foi possível perceber que os estudantes do Ensino Fundamental foram bem mais participativos durante a aplicação da sequência didática em relação aos estudantes do Ensino Médio. Assim, fica o questionamento, cuja compreensão é fundamental para nós professores, “O que acontece durante o processo acadêmico nas escolas em que os estudantes mais velhos tendem a “perder o interesse” pelas ciências?”. Esta pergunta pode ser um alicerce de uma futura pesquisa acadêmica, com objetivo de tentar reverter esse cenário.

Com relação à parte quantitativa presente em formas de tabelas e gráficos deste trabalho, os mesmos foram construídos após análise conjunta entre o autor desta dissertação e a sua orientadora, de forma que os resultados ficassem expressos em uma linguagem visual para o leitor desta dissertação. Pudemos perceber que houve um aumento significativo no número de Respostas Coerentes (CO) e Respostas Adequadas (RA), indicando um possível amadurecimento cognitivo por parte dos estudantes com relação às ideias apresentadas e aproximando-se das expectativas e intenções para se buscar evidências da Aprendizagem Significativa, em todos os níveis de escolaridade investigados.

Ao analisar os dados da sondagem final, é possível perceber ainda que existiram Respostas Incoerentes (IN), porém em números bem menores.

Uma das percepções extraídas após a análise dos resultados é a expansão do vocabulário científico dos estudantes. Eles conseguiram apropriar conceitos e usar adequadamente nomenclaturas científicas. Verificamos também que o pensamento científico foi incorporado e identificado no cotidiano dos estudantes. A partir dessas evidências, podemos concluir que houve, ao longo da aplicação da sequência didática, o que chamamos de “alfabetização científica”, um dos principais objetivos para o processo de ensino e aprendizagem da física.

Outra percepção foi que as respostas mecânicas, muito presentes nas sondagens iniciais, foram dando lugar para uma tentativa de resposta autoral, ou seja, a transição da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa foi acontecendo e consequentemente nos trouxeram mais indícios do êxito do trabalho.

Apesar das dificuldades impostas pela pandemia, às vezes agravadas para alguns estudantes, de natureza social, emocional ou de saúde na família (posso me incluir neste grupo), tivemos uma participação satisfatória no projeto, com um número considerável de respostas. Obtivemos, assim, uma boa confiabilidade nos dados e pudemos perceber os indícios da aprendizagem significativa relacionados ao estudo dos Buracos Negros e dos temas correlatos da astronomia.

Dada a situação inédita vivida no contexto mundial, reforço aqui a velocidade com que nós, professores, tivemos que nos adaptar ao uso de plataformas digitais para nos reunir, transmitir nossas aulas e até mesmo avaliar nossos estudantes. Tivemos que modificar nossas práticas pedagógicas e repensar o ensino para este formato, considerando ainda todas as limitações (no ensino-aprendizagem) que as restrições tecnológicas impõem às famílias desfavorecidas economicamente. Logo, reitero a importância do papel do professor em sala de aula, não restrito apenas à transmissão de conteúdos, mas também como mediador do crescimento individual e coletivo da turma no que se refere à construção do conhecimento.

Considero ainda que uso das plataformas digitais fez com que muitos estudantes tivessem dificuldades em compreender todo o processo envolvido na sequência didática. Embora os dados nos mostrem que houve indícios de aprendizagem significativa, baseando-se nas integridades das respostas e na honestidade durante a participação do processo, acredito que a aplicação de uma metodologia como essa é bem mais eficiente

quando realizada de maneira presencial. Com base nos dados apresentados, será que o ensino remoto pode vir a substituir o ensino presencial? Essa pergunta não fazia parte dos objetivos da investigação inicial, mas surgiu naturalmente durante o período desta pesquisa. Considero que seria interessante outros pesquisadores desenvolverem projetos buscando respostas para esta questão.

Ao finalizar esta dissertação, gostaria de incentivar os professores que tenham interesse na área de Astronomia, que busquem novos elementos para sua formação e estudem metodologias possíveis para que o ensino da área se fortaleça em sala de aula. Que sempre promovam o despertar do gosto científico dos estudantes e que os mesmos possam reconhecer a importância e presença da ciência em nossas vidas. O caminho para reduzir as desigualdades sociais passa pelo progresso da ciência e tecnologia e de sua apropriação pela sociedade.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos:** uma perspectiva cognitiva. 1ª ed. Lisboa: Platano, 2003. Disponível em: <<http://files.mestrado-em-ensino-de-ciencias.webnode.com/200000007-610f46208a/ausebel.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

Storchi-Bergmann, T., Nemmen, R. S., Eracleous, M., Halpern, J. P., Wilson, A. S., Filippenko, A. V., Ruiz, M. T., Smith, R. C., Nagar, N. M., *Evolution of the Nuclear Accretion Disk Emission in NGC 1097: Getting Closer to the Black Hole*, 2003, **Astrophysical Journal**, Vol. 598, 956

BRANDT, J. C.; MARAN, S. P; *New horizons in Astronomy*: 2. Ed. San Francisco: W. H Freeman and Company, 1979. p. 279-529.

BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais:** terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/introducao.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2020.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação.** Brasília, DF: MEC, SEB, DICEI, 2013. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>>. Acesso em: 10 set. 2020.

CHESTER, Paul M; NAYARAN, Ramesh; CURIEL, Erik. Singularities in Reissner–Nordström black holes. **Classical And Quantum Gravity**, Cambridge, v. 37, n. 10, p. 1-15, dez. 2019.

CROTHERS, S. J. *A brief story of Black Holes.* **Progress in Physics**: New Mexico, v. 2, p. 54-58, abr./2006 disponível em [https://www.researchgate.net/publication/26416769\\_A\\_Brief\\_History\\_of\\_Black\\_Holes/link/0c96052c973c306eb5000000/download](https://www.researchgate.net/publication/26416769_A_Brief_History_of_Black_Holes/link/0c96052c973c306eb5000000/download). Acesso em: 18 jan. 2021

DAROS, Fernanda de Andrade Galliano; PRADO, Maria Rosa Machado. **FEEDBACK NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO SUPERIOR.** 2015. Disponível em: [https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/17456\\_9283.pdf](https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/17456_9283.pdf). Acesso em: 31 out. 2021.

FERREIRA, Dirceu; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. **Desafios e possibilidades no ensino de astronomia.** 2008. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2356-8.pdf>. Acesso em: 08 set. 2021.

FERREIRA, M. et al. Ensino física atômica para uma turma do terceiro ano do ensino médio. **Revista do professor de física**, v. 2, n. 3, p. 43-58, 4 Dezembro 2018. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19923/18363>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Teorias da Aprendizagem e da Educação como Referências em Práticas de Ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, v. 2, n. 2, Agosto 2018. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/12315/10793>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Sousa; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica.** 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017. 640 p.

FRANKOI, A.; MORRISON, D.; WOLFF, S.C.: *Astronomy*: 1 ed, 2013. p. 805-875.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física:** óptica e física moderna. 10ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2016.

LLEWELLYN, R. A.; TIPLER, P. A. **Física Moderna**: 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. p. 393-435

LONGHINI, M. D.; **Ensino de Astronomia na Escola**. 1. Ed. Campinas; Átomo 2014.

MAGALHÃES, Luís Felipe de Oliveira. **Soluções de Buracos Negros na Relatividade Geral**. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.

MARAN, S.P.; **Astronomia para Leigos** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. p. 145-230.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011a. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa um conceito subjacente**. 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **Diagramas V e a aprendizagem significativa**. 2007. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/DIAGRAMASpor.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA?** 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **Organizadores Prévios e Aprendizagem Significativa**. 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

NUNES, M.R. **Possibilidades e desafios no Ensino de Astronomia pela Língua Brasileira de Sinais** – Dissertação de Mestrado

OHANIAN, H. C; RUFFINI, R. *Gravitation and Spacetime*: 3 ed. Cambridge: Cambridge Press. 2013

Peixoto, D. E., & Kleinke, M. U. (2016). EXPECTATIVAS DE ESTUDANTES SOBRE A ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO. *Revista Latino-Americana De Educação Em Astronomia*, (22), 21–34. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2016.22.021>

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G do.; **Física Moderna e Contemporânea: Das teorias quânticas às fronteiras da física**. v. 1 e 2. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física 2014.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 134-138 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.

## APÊNDICE A – Slides utilizados na Sequência Didática

### Formação de Estrelas

Prof. Guilherme Henrique Schinzel



#### Sumário

- Nebulosas
- Formação de Estrelas
- Protoestrelas
- Estrelas
- Ciclo de Formação de Estrelas
- Linha do tempo de Formação de Estrelas

2



#### Introdução – Como as Estrelas são formadas?



3



#### Nebulosas – Estudá-las pra que?



4



#### Introdução – Como as Estrelas são formadas?



5



#### Nebulosas

- Imensa nuvem de gás e poeira que paira entre as estrelas.
- A radiação das estrelas excitam as cargas elétricas presentes nessas nuvens e quando estas cargas voltam ao seu estado original emitem luz.
- Baixíssimas Temperaturas (10K e 20K)

6



#### Nebulosas

- Em baixas temperaturas, comumente a densidade aumenta;
- Gases se agrupam em moléculas
- Quando a densidade limite é atingida, a formação da estrela se inicia.



#### Protoestrelas

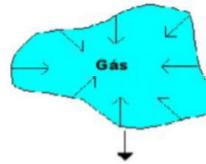
- Corpos celestes com características bem definidas, porém, primitivas
- Possuem identidade própria (destacando-se da nuvem de gás e poeira)
- E campo gravitacional próprio

### Protoestrelas

- Devido ao seu campo gravitacional, matéria começa a rotacionar transformando energia cinética em energia interna (calor);
- Com essa rotação, temos aumento de Temperatura e Pressão;

9

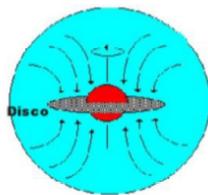
### Evolução de Uma Protoestrela



A parte cuja densidade é maior se colapsa através da gravidade, fazendo com que seja desgarrada da nuvem

10

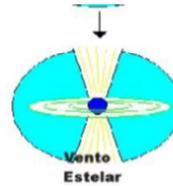
### Evolução de Uma Protoestrela



Na região do centro da protoestrela teremos maiores temperaturas e densidades. A formação do disco é lenta e assemelha-se ao sistema planetário, e por atração gravitacional, a matéria ao seu redor continua se depositando até que essa estrela aumente significativamente sua massa. (Quando esse ciclo se inicia a protoestrela tem cerca de 1% de sua massa final)

11

### Evolução de Uma Protoestrela



A partir do momento que a fusão nuclear se inicia no interior da estrela, cessa-se o depósito de materiais nela. Produzindo uma emissão significativa de partículas e radiação a partir da protoestrela.

12

### Estrelas

- A matéria começa a se aglomerar em um determinado ponto do espaço e conseqüentemente esse aumento de massa gera um aumento de gravidade, ou seja, atraindo ainda mais as partículas que se encontram ao redor desse ponto

13

### Condições para a formação de Estrelas

- Regiões cuja massa têm por volta de 10.000 vezes a massa do Sol na forma de gás e poeira;
- Regiões internas da estrela colapsam primeiro devido a sua maior densidade
- Durante os colapsos partes dessa nuvem de poeira se tornam “pequenos pedaços” cada um em torno de 10 a 50 vezes a massa do Sol e são chamados de Protoestrelas

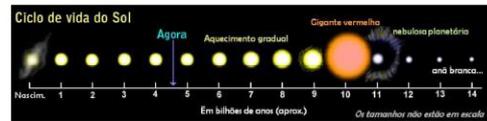
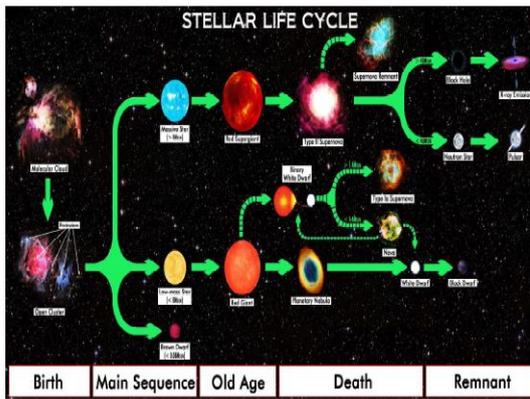
14

### Escala de tempo para a formação das estrelas

- Milhões de anos, ou seja, não é um processo rápido.
- Nosso Sol, por exemplo. Ele possui 4,5 Bilhões de anos e o Universo está estimando entre 13 e 14 bilhões de anos;

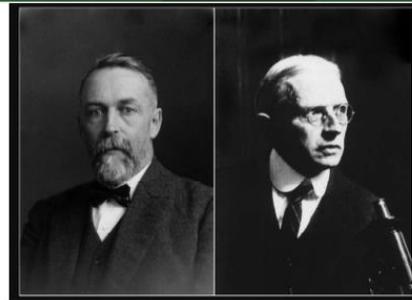
### Escala de tempo para a formação das estrelas

- Milhões de anos, ou seja, não é um processo rápido.
- Nosso Sol, por exemplo. Ele possui 4,5 Bilhões de anos e o Universo está estimando entre 13 e 14 bilhões de anos;



### O Diagrama de Hertzsprung-Russel

Professor Guilherme Henrique Schinzel



Ejnar Hertzsprung

Henry Norris Russell

Nos anos entre 1905 e 1911, os astrônomos Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russel desenvolveram uma maneira de representar as informações astronômicas e astrofísicas de estrelas que revelaram a presença da relação entre o brilho das estrelas e de sua temperatura.

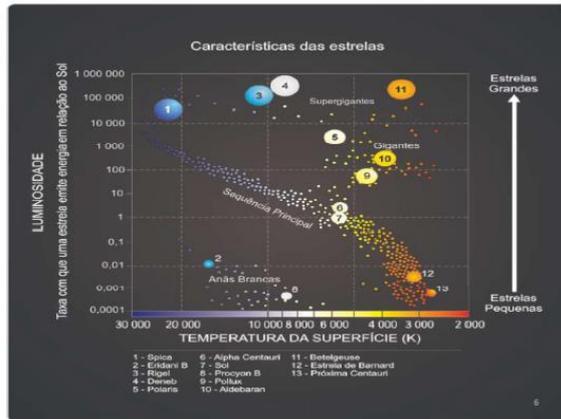
O diagrama de H-R seria uma ferramenta que revolucionaria nosso entendimento da evolução estelar

### Questionamentos

- Como é feita a classificação das estrelas?
- Quais são as características levadas em conta?
- Distancia?
- Tamanho?
- Brilho?

## Jogo das Estrelas

5



6

- Com a descoberta de Hertzsprung era possível separar estrelas de mesma cor em anãs e gigantes, aquelas com baixa luminosidade e estas com alta luminosidade.
- Relação Sol-Polaris

7

### Classificações Importantes

- A sequência principal – Linha diagonal cuja distribuição vai do extremo superior esquerdo (onde encontram-se as estrelas mais luminosas e mais quentes) até o extremo inferior direito (onde encontram-se as estrelas menos luminosas e mais frias)
- A massa é o fator decisivo para saber se uma estrela se enquadra na sequência principal ou não.

8

### Quadro Comparativo

Tipo	Cor	Luminosidade	Temperatura	Massa
Supergigantes	Azuis	$10^4 \sim 10^6$	10000K ~ 30000K	8 a 70 vezes maior que a massa do Sol
	Vermelhas	$10^4 \sim 10^6$	5000K ~ 3000K	
Gigantes	Tendem para o vermelho	$10^0 \sim 10^3$	5000K ~ 3000K	0,5 a 10 vezes maior que a massa do Sol
Anãs Brancas	Tendem para o Azul	$10^{-2} \sim 10^{-5}$	15000K ~ 8000K	Em média 0,6 vezes a massa do Sol

9

- Estudos recentes estimam que na vizinhança do Sol, aproximadamente 80% das estrelas enquadram-se na sequência principal
- Aproximadamente 20% encaixam-se nas anãs brancas
- E menos de 1% em supergigantes.

Vizinhança, em física, define-se como sendo toda a parte, região, que rodeia um sistema

10

## Buracos Negros – Uma descoberta

Guilherme Henrique Schinzel



### 1783 – John Mitchell



Sugeriu que a gravidade na superfície de algumas estrelas poderia ser tão forte que nem a luz poderia escapar. Usando ideias contemporâneas sobre gravidade, Mitchell conseguiu calcular a “estrela escura” da massa do Sol, que teria apenas alguns quilômetros de diâmetro.

Com cálculos mais modernos, seus resultados coincidem o tamanho de um buraco negro de massa solar.

Pároco na vila de Thornhill  
Cientista pioneiro na Grã-Bretanha

2



### 1796 - Pierre-Simon Laplace



Descobriu o conceito de “estrelas escuras” de maneira independente de Mitchell.

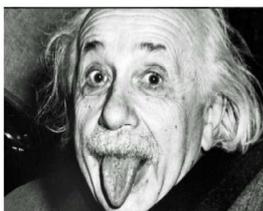
Ele postula que os “maiores corpos luminosos no Universo podem ser invisíveis”. Depois de uma nova descoberta sobre as propriedades da luz, o conceito é abandonado.

Astrônomo e Matemático Francês

3



### 1915 – Albert Einstein



Einstein expandia sua teoria da relatividade para incluir os efeitos da gravidade (Teoria da Relatividade Geral). Suas equações mostraram que a gravidade é uma deformação no espaço-tempo causado pela matéria.

Quanto mais massivo o objeto é, maior é a sua deformação ao seu redor.

A teoria da Relatividade Geral fornece a base teórica para buracos negros.

Físico Teórico Alemão – Ganhador do prêmio Nobel de Física em 1921.

4



### 1915 – Albert Einstein



#### Relatividade

A teoria da **relatividade** aborda os fenômenos que ocorrem em deslocamentos de objetos que possuem velocidades próximas ou iguais à da luz. No estudo da Mecânica, a velocidade, por exemplo, é uma grandeza relativa, ou seja, a sua determinação depende do referencial a partir do qual está sendo medida.

Físico Teórico Alemão – Ganhador do prêmio Nobel de Física em 1921.

7



### 1915 – Albert Einstein



#### Espaço-tempo

Como consequência deste limite de velocidade para todas as coisas, Einstein percebeu também que o espaço não era independente do tempo, mas formava com ele uma entidade que ele chamou de espaço-tempo.

Físico Teórico Alemão – Ganhador do prêmio Nobel de Física em 1921.

8



### 1916 – Karl Schwarzschild



Antes que Albert Einstein pudesse resolver as equações na sua própria teoria da gravidade, o astrônomo e oficial militar alemão revela uma solução que inclui uma descoberta surpreendente: Matéria suficiente alocada em um espaço pequeno o bastante teria um campo gravitacional tão poderoso que nada poderia escapar dele, inclusive a luz.

Físico e Astrônomo Alemão  
Um dos Fundadores da moderna Astrofísica.



### 1939 – J.R. Oppenheimer e H. Snyder



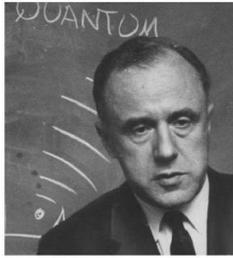
J. R. Oppenheimer Físico norte-americano e foi diretor do Projeto Manhattan



H. Snyder Físico norte-americano também participante do projeto Manhattan

Oppenheimer e Snyder estudaram o colapso de uma estrela degenerada com mais de 3 Msol (limite superior para uma estrela de nêutrons).

### 1967 – Jhon Wheeler



Físico teórico norte-americano  
Colaborador de Albert Einstein

Trouxe o conceito de "estrelas colapsadas" durante uma de suas palestras na Universidade de Princeton.

Princeton → Universidade reveladora de físicos relativísticos

**Colapso gravitacional** é o fenômeno que ocorre quando um objeto muito massivo (normalmente uma estrela) deixa de realizar fusão nuclear de seus elementos químicos já esgotados, contraindo-se. No caso das estrelas, podem gerar uma anã branca, mas se o processo se estabiliza, elas explodem, gerando uma supernova no caso de uma instabilidade em seu núcleo no ato do colapso, criando um buraco negro.

9

### 1974 – Stephen Hawking



Físico e Cosmólogo Britânico

Contribuições de Hawking à Ciência.

- 1) Determinou que o Universo começou como uma singularidade
- 2) Ele aplicou a segunda lei da termodinâmica aos buracos negros
- 3) Criou a hipótese de que buracos negros podem se extinguir
- 4) Teorizou como o Universo se expandiu e as galáxias se formaram
- 5) Pensou no que havia antes do Big Bang
- 6) Ele propôs uma teoria para tudo

10

### 2015 – Kip Thorne



Físico e astrônomo norte-americano  
Amigo de Stephen Hawking

Prova a teoria de Einstein através das Ondas Gravitacionais

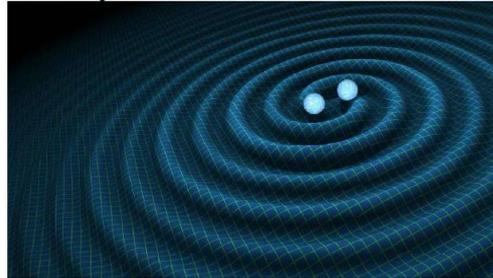
Prova a existência de Buracos Negros de massa estelar.

Consultor científico do filme Interestelar



11

### Detecção de Ondas Gravitacionais



12

### A FOTO DO BURACO NEGRO



© MATADOR network

### A IMPORTÂNCIA DA PESQUISA COLABORATIVA

- 1) Em 2017 cerca de 200 cientistas trabalhando com diversos telescópios
- 2) Massiva quantidade de imagens
- 3) Foram necessários 4 grupos de pesquisa para conseguir fazer análise
- 4) A imagem demorou 2 anos para ser publicada
- 5) Novas observações estão sendo analisadas

14

## 2019 – A famosa foto do Buraco Negro



Imagem de Buraco negro na galáxia Messier 87 publicada em 10 de abril de 2019. Está a cerca de 50 milhões de anos-luz da Terra e possui 3 milhões de vezes o tamanho do nosso planeta.

Katie Bouman

A cientista Katie Bouman, de 29 anos, liderou a criação de um algoritmo que permitiu aos demais estudiosos formarem a imagem do buraco negro pela primeira vez.



15

## A Estrutura do Buraco Negro

Prof. Guilherme Henrique Schinzel

## O que é um Buraco Negro?

É uma região no espaço em que o campo gravitacional é tão intenso que nem mesmo partículas com velocidades próximas a “c” (a luz inclusive) conseguem escapar da sua atração gravitacional.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

2

## Compreendendo o funcionamento do Buraco Negro

- Recapitulando:

Força Gravitacional

$$\vec{F}_g = \frac{GM_1M_2}{r^2} \hat{r} \quad (i)$$

$F_g$  = Vetor Resultante da Força Gravitacional de Newton

$G$  = Constante Gravitacional  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

$M_1$  e  $M_2$  = Massas dos corpos em questão

$r$  = distância entre eles

3

## Compreendendo o funcionamento do Buraco Negro

$$\vec{F}_g = \frac{GM_1M_2}{r^2} \hat{r} \quad (i)$$

4

## A gravidade de um planeta

$$g = \frac{G \cdot M}{r^2} \quad (ii)$$

Simplificando a expressão (i) podemos chegar na expressão (ii).

Com base nessa informação, podemos perceber que para que a gravidade seja tão alta que nem a luz consiga escapar, devemos nos ater a dois detalhes.

5

## A gravidade da Terra

$$g = \frac{G \cdot M}{r^2} \quad (ii)$$

Simplificando a expressão (i) podemos chegar na expressão (ii).

Com base nessa informação, podemos perceber que para que a gravidade seja tão alta que nem a luz consiga escapar, devemos nos ater a dois detalhes.

6

### A gravidade de um Buraco Negro

- 1) Considerar que o Buraco Negro tenha um tamanho FINITO, ou seja,  $r$  tem um valor finito.
- 2) Para que  $\vec{g} \sim \infty$  devemos associar que a massa desse corpo seja muito alta.

### A velocidade de escape

- É conhecido também o fato de que um objeto lançado para cima atinge maiores altitudes a cada vez que é atirado com maior velocidade. Desprezando a resistência do ar e a presença de qualquer obstáculo na atmosfera, é possível deduzir que deve haver uma certa velocidade de lançamento grande o suficiente para que o objeto se distancie do planeta em questão de tal forma que jamais retorne à sua superfície. Em uma posição tão distante, o objeto estaria livre da influência da gravidade do planeta, conseguindo escapar de seu campo gravitacional. De fato, tal velocidade existe e damos a ela o nome de **velocidade de escape**.

### A velocidade de escape

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$v$  = a velocidade de escape em m/s

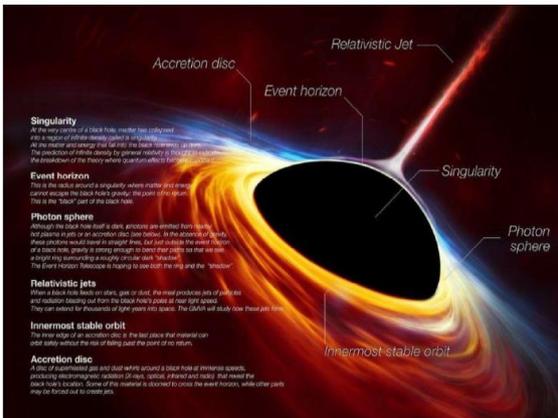
$G$  = a constante gravitacional

$M$  = massa do corpo

$R$  = raio do corpo

### Comparações de velocidade de escape

PLANETA	VELOCIDADE DE ESCAPE (km/h)
Merúrio	15.300
Vênus	37.296
Terra	40.283
Lua	
Marte	18.180
Júpiter	216.720
Saturno	129.924
Urano	76.968
Netuno	84.815
ESTRELA	VELOCIDADE DE ESCAPE (km/h)
Sol	2.223.720
Sírius B	18.720.000



### A estrutura do Buraco Negro

- Singularidade → Exatamente no centro do Buraco Negro, a matéria colapsou em uma região de densidade infinita. Toda a matéria e energia que caem em um buraco negro chegam neste ponto. A previsão da densidade infinita veio da Relatividade Geral na ruptura da teoria em que os efeitos quânticos se tornam importantes.

### A estrutura do Buraco Negro

- Horizonte de Eventos → é o raio ao redor da singularidade onde a matéria e energia não conseguem mais escapar da gravidade do Buraco Negro: o ponto de não retorno. Essa é a parte "negra" do buraco negro.

### A estrutura do Buraco Negro

- Esfera de fótons → apesar do Buraco Negro em si seja escuro, fótons são emitidos do plasma próximo em jatos relativísticos ou discos de acreção. Na ausência da gravidade esses fotos viajariam em linhas retas, mas nas proximidades do horizonte de eventos a gravidade é tão intensa que curvam as suas trajetórias que então podemos ver um anel brilhante ao redor de um círculo preto

### Estrutura de um Buraco Negro

Jatos Relativísticos → Quando um Buraco Negro “se alimenta” de estrelas, gás ou poeira, a “refeição” produz jatos de partículas e radiação explodindo das redondezas do Buraco Negro em velocidades próximas a da luz.

### Estrutura de um Buraco Negro

Órbita estável mais profunda → A **borda interna** de um disco de acreção é último local que a matéria pode orbitar com segurança sem correr o risco de passar do ponto de não retorno.

é definida como o limite interno da região da qual emerge a maior parte da luminosidade.

### Estrutura de um Buraco Negro

Disco de Acreção → Um disco de gás e poeira superaquecidos que circulam ao redor do Buraco Negro em velocidades imensas, produzindo radiação eletromagnética (Raios-X, infravermelho e ondas de rádio) que revelam a localização do Buraco Negro. Um pouco do material pode estar condenado a cruzar o horizonte de eventos, enquanto outras partes podem ser forçadas a ser expelidas pelos jatos.

17

### Classificação dos Buracos Negros

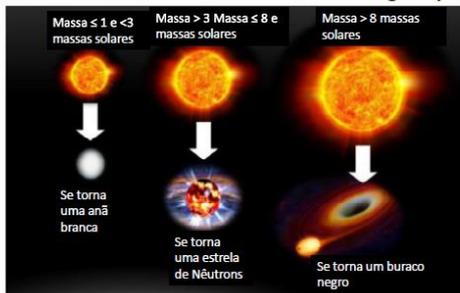
Prof. Guilherme Henrique Schinzel

### Classificação associada a massa.

Classificação	Massa
Estelar	1 a 20 vezes a massa do Sol
Supermassivos	Milhões a bilhões de vezes a massa do Sol
Massa Média	Massa entre a Estelar e a Supermassiva

2

### Todas as estrelas se tornam Buracos Negros (BN)?



3

### O Raio de Schwarzschild

#### • Definição

— O **Raio de Schwarzschild** é um raio característico associado a todo corpo material. Este raio está associado à extensão do horizonte de eventos que haveria caso a massa de tal corpo fosse concentrada em um único ponto de dimensões infinitesimais (semelhante ao que ocorre em um buraco negro).

4

O Raio de Schwarzschild

$$R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

$R_{Sch}$  = Raio "mínimo" para se tornar um Buraco Negro

G = Constante gravitacional  $6,67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>

M = Massa do corpo em questão.

5

E se a Terra e o Sol fossem Buracos Negros? Qual deveria ser o Raio deles? Vamos estimar?

6

E se a Terra e o Sol fossem Buracos Negros? Qual deveria ser o Raio deles? Vamos estimar?

$$R_{Sch} = \frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,98 \cdot 10^{24}}{(2,99 \cdot 10^8)^2}$$

$$R_{Sch} = 8,92 \cdot 10^{-3} m$$

7

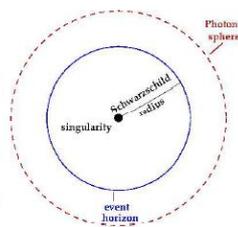
Tipos de Buracos Negros



8

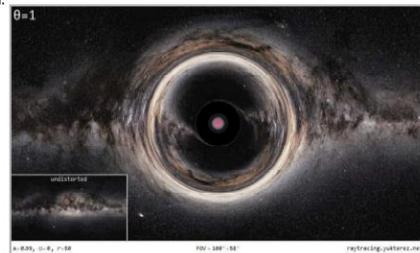
Tipos de Buracos Negros

O Buraco Negro de Schwarzschild é o mais simples de todos, pois este não tem um movimento de rotação e não possui carga. O horizonte de eventos é esférico e fora dele temos a esfera de fótons, local em que os fótons podem se mover em um círculo perfeito, apesar de instável.



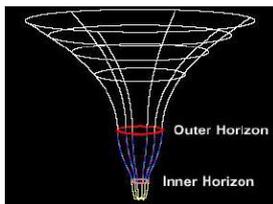
9

O Buraco Negro de Kerr tem um formato diferente do de Schwarzschild pois este possui rotação. A sua singularidade agora é mais parecida com um anel e sua ergosfera também não é mais esférica.



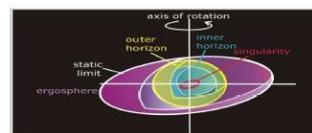
10

O modelo de Reissner-Nordstrom é muito parecido com o de Schwarzschild mas a principal diferença está na presença de cargas elétricas.



11

O modelo de Kerr-Newman é o mais complexo de todos os tipos de buracos negros conhecidos, este possui rotação e cargas ao seu redor.



12

## Definição de estruturas

- **Ergosfera**
  - Uma região postulada ao redor do BN, em que a energia pode escapar.
- **O horizonte de eventos interno**
  - O horizonte de eventos interno de um BN é um lugar muito caótico, a matéria que cai no BN atravessa o horizonte de eventos, colide com matéria sendo lançada para fora pela força centrífuga causada pela rotação do BN

13

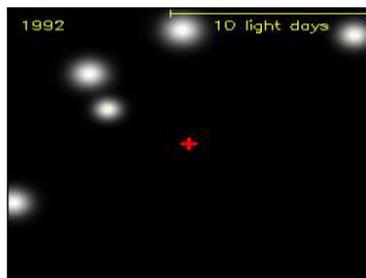
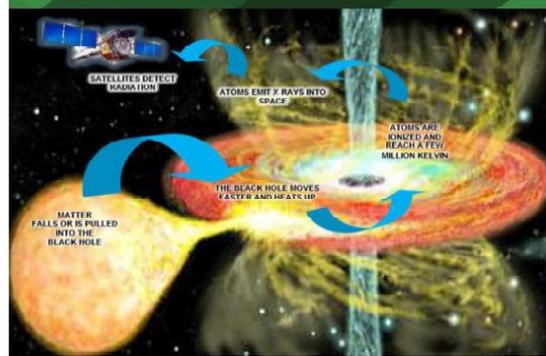
## Definição de estruturas

- **O Horizonte de eventos externo**
  - É o limite da região em que os raios de luz não conseguem escapar. Em outras palavras, se você ultrapassar o horizonte externo não poderá voltar.
- **Singularidade**
  - Um ponto unidimensional que contém uma massa enorme em um espaço infinitamente pequeno, onde a densidade e a gravidade se tornam infinitas e o espaço tempo se curva infinitamente, e onde as leis da física como as conhecemos deixam de operar

14

MODELO	ROTAÇÃO	CARGA
Schwarzschild	Não	Não
Kerr	Sim	Não
Reissner-Nordstrom	Não	Sim
Kerr-Newman	Sim	Sim

15



17

## Teorias existentes se cairmos em um Buraco Negro

- A força gravitacional será tão intensa que em algum momento você será separado completamente em níveis atômicos e subatômicos.
- Espaguetificação é uma teoria quando uma pessoa cai em um buraco negro ela é esticada até ser completamente desintegrada.

18

- “Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.”

• Carl Sagan

19

## Dúvidas/Esclarecimentos

- Prof. Guilherme Henrique Schinzel  
[gschinzel@gmail.com](mailto:gschinzel@gmail.com)  
 (61) 98162-5474

20

# SEQUÊNCIA DIDÁTICA



Aplicação presencial



BURACOS NEGROS

**Prof. Guilherme Schinzel**

## SUMÁRIO

Apresentação do projeto .....	146
Objetivo Principal .....	146
Objetivos Secundários.....	146
A sequência didática.....	147

### Apresentação do projeto

#### Prezados professores

Este manual servirá de base para que vocês apliquem esta sequência didática sobre buracos negros de maneira presencial para os estudantes do Ensino Médio, você estará livre para fazer adaptações de acordo com a turma, estrutura física da escola e o que mais for necessário.

#### Objetivo Principal

Apresentar o conceito de Buracos Negros e suas classificações através desta sequência didática em forma de UEPS, baseando-se nos conceitos de aprendizagem significativa de David Ausubel.

#### Objetivos Secundários

- Verificar os conhecimentos prévios sobre Astronomia;
- Apresentar o conceito de formação e classificação de estrelas;
- Apresentar o diagrama de Hertzsprung-Russel;
- Introduzir e aprofundar os conceitos relacionados ao estudo dos Buracos Negros.

**Orientando: Professor Guilherme Henrique Schinzel**

**Orientadora: Profa. Dra. Vanessa Carvalho de Andrade.**

**Brasília 2020**

## A sequência didática

**Nesta sequência presencial, teremos uma sugestão de oito encontros com os estudantes para trabalharmos de maneira adequada os conteúdos necessários, porém, você pode adaptar de acordo com a sua disponibilidade de horários.**

### **ENCONTRO 01 (Previsão de 2 horas aula)**

Sugere-se aqui que seja feita uma apresentação do que é este projeto e quais são as suas razões para a aplicação naquela turma. Deixe os alunos cientes de que o processo de ensino e aprendizagem é muito importante para o seu desenvolvimento. Vale ressaltar que uma conversa inicial com a turma é de suma importância para que o engajamento seja satisfatório.

Aqui também será aplicado uma sondagem inicial com perguntas em diferentes graus de dificuldade para que os estudantes respondam e que possamos ter uma ideia dos conteúdos e conceitos que os alunos já conheçam previamente.

Segue abaixo um modelo para a sondagem inicial.

- 1) O que é Astronomia? (Investigar a presença de conhecimento básico sobre astronomia)

---

---

---

---

---

---

- 2) Como foram/são formadas as estrelas? E como elas são organizadas? (Investigar se o aluno possui um grau um pouco mais elevado de conhecimento de astronomia)

---

---

---

---

---

3) O que são buracos negros? (Verificar se o aluno possui alguma ideia do que seja esse elemento da astronomia)

---

---

---

---

---

---

4) Como são formados os buracos negros? (Analisar a capacidade de raciocínio do aluno durante as etapas da formação do buraco negro)

---

---

---

---

---

---

5) Quais são os efeitos gerados pela gravidade de corpos supermassivos? (Investigar a presença de conhecimentos sobre os efeitos relativísticos causados por esses corpos)

---

---

---

---

---

---

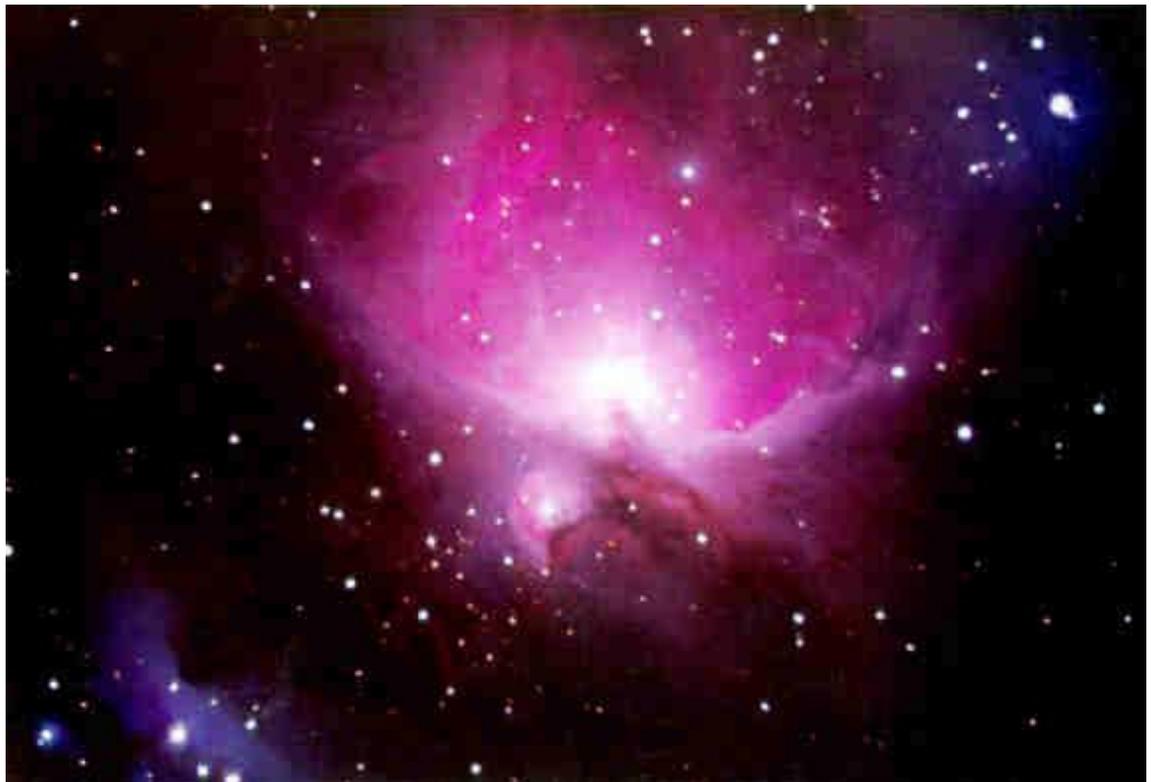
A ideia neste momento é que o professor classifique as respostas dos estudantes de acordo com a seguinte legenda:

- i) (NR) – Não respondeu;
- ii) (FT) – Fuga do tema;
- iii) (INC) – Resposta incoerente
- iv) (CO) – Resposta Coerente
- v) (RA) – Resposta Adequada

Com esse modelo de correção teremos indícios tanto quantitativos quanto qualitativos para que as respostas sejam tabuladas e analisadas futuramente.

## **ENCONTRO 02 A Formação das Estrelas (Previsão de 2 horas aula)**

Projete a seguinte imagem abaixo e inicie uma discussão sobre a formação das Estrelas.



Em seguida, dê prosseguimento ao conteúdo sempre dialogando com os estudantes para fazer uma avaliação qualitativa dos conceitos por eles apresentados e guiando os estudantes para o lado do rigor científico e crescimento acadêmico.

Os slides estarão disponíveis neste link.

<https://drive.google.com/file/d/14u551vBgkK-F4NJGu2B02BQcM8jFBP00/view?usp=sharing>

Você pode fazer as alterações necessárias para adequar-se ao nível necessário.

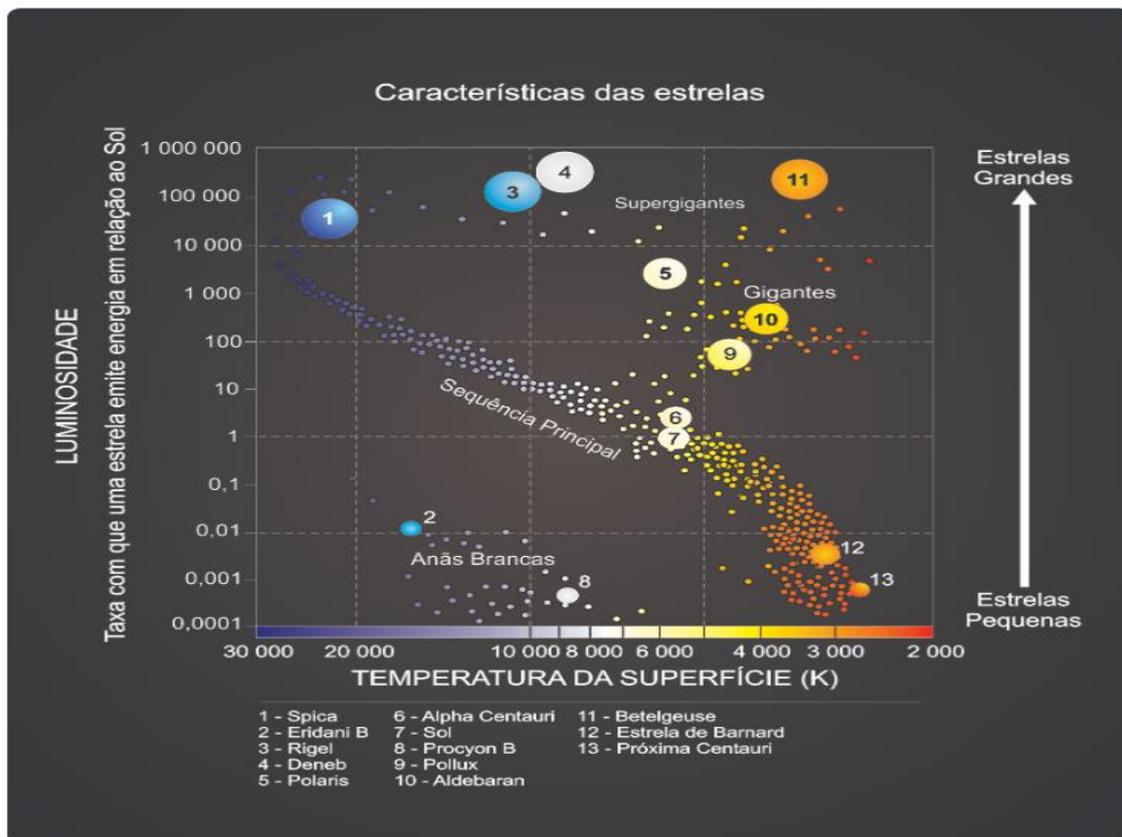
## ENCONTRO 03 – O Diagrama H-R (Previsão de 2 horas aula)

Neste encontro continuaremos o conteúdo sobre Estrelas, que é fundamental para a caminhada até a construção dos conceitos de Buracos Negros. No início temos uma breve apresentação de quem foram os cientistas Einar Hertzsprung e Henry Norris Russel.

O link para esta apresentação está abaixo:

<https://drive.google.com/file/d/1pof5ed3lHnTzgeJGev8a47EgiAtpMK2N/view?usp=sharing>

O fato importante desta aula é o jogo das Estrelas.



Neste jogo os estudantes precisarão descobrir de qual estrela o professor está falando. Forneça aos alunos as informações relacionadas à luminosidade e a temperatura e verifique se eles conseguem descobrir de qual Estrela estamos nos referindo. Esse jogo é um material potencialmente significativo e foi muito bem aceito pelos estudantes e renderam bons momentos de aprendizado.

Finalize o encontro com o restante das informações necessárias para que o aprendizado evolua.

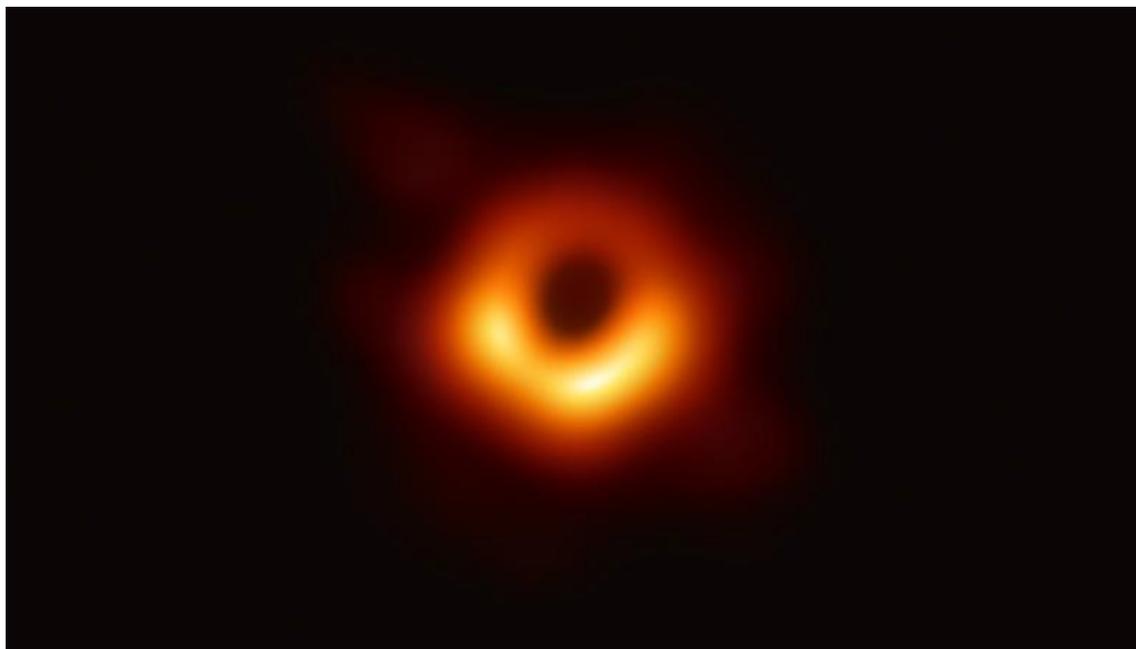
## **ENCONTRO 04 – BURACOS NEGROS – UMA DESCOBERTA (Previsão de 2 horas aula)**

Neste encontro teremos mais uma exposição de conteúdos, pois em muitos casos, os estudantes não conhecem todo o trajeto da pesquisa que foi feita para chegarmos na descoberta do que hoje chamamos de Buracos Negros.

O link para esta aula encontra-se disponível abaixo.

[https://drive.google.com/file/d/1LWAX0DYcKhtlj\\_3YpwiRMBT166p0N5-y/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1LWAX0DYcKhtlj_3YpwiRMBT166p0N5-y/view?usp=sharing)

Podemos aproveitar, nesta aula, para propiciar aos estudantes um momento de reflexão sobre a importância do desenvolvimento das pesquisas colaborativas entre diversos profissionais de diversas áreas que tornaram, por exemplo, a imagem abaixo possível. Recomenda-se ao professor que leia um pouco sobre como a imagem foi construída.



Texto de referência para os professores: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/dia-historico-para-a-ciencia-revelada-a-primeira-imagem-de-buraco-negro/>

**ENCONTRO 05 – A ESTRUTURA DOS BURACOS NEGROS (Previsão de 2 horas aula)**

Neste encontro aprofundaremos mais os conhecimentos sobre os Buracos Negros, aproveitando para explorar novos vocabulários como Horizonte de Eventos, Disco de Acreção e Singularidade. É importante ressaltar ao professor que esses conceitos são de fundamental importância para que os estudantes consigam desenvolver de maneira correta o rigor científico.

O link para a apresentação encontra-se abaixo.

[https://drive.google.com/file/d/1hsb9zItmQsrZKKjhxAcAEvbR\\_o24JKYd/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1hsb9zItmQsrZKKjhxAcAEvbR_o24JKYd/view?usp=sharing)

## ENCONTRO 06 – A CLASSIFICAÇÃO DOS BURACOS NEGROS (Previsão de 2 horas aula)

Finalizando a aplicação da nossa sequência didática, mostraremos aos estudantes como são classificados os buracos negros de acordo com suas características. Primeiramente faremos um exercício mental com os alunos qual seria o tamanho do Sol caso ele virasse um Buraco Negro?

Utilize a expressão do Raio de Schwarzschild para determinar este tamanho.

$$R_{sch} = \frac{2 \cdot G \cdot M_{sol}}{c^2}$$

A tabela abaixo mostra de maneira sucinta a classificação de acordo com a rotação e cargas dos Buracos Negros.

MODELO	ROTAÇÃO	CARGA
<u>Schwarzschild</u>	Não	Não
<u>Kerr</u>	Sim	Não
<u>Reissner-Nordstom</u>	Não	Sim
<u>Kerr-Newman</u>	Sim	Sim

## ENCONTRO 07 – A SONDAGEM FINAL (Previsão 1-2 horas aula)

Aplicaremos aos estudantes, neste momento, a sondagem final. Será corrigida da mesma maneira que a sondagem inicial, então tente procurar por indícios de evolução no aprendizado dos estudantes.

- 1) O que é Astronomia? (Objetivo: verificar a presença de subsunçores relacionados ao conhecimento básico de astronomia)

- 2) Como são formadas as Estrelas? (Objetivo: em um nível mais alto de conhecimento, perceber quais são as ideias dos alunos sobre a formação de estrelas – respostas adequadas deverão conter ideias sobre aglomerados de matéria e ideias de gravitação)
  
- 3) Como são classificadas as estrelas? (Objetivo: Verificar se os alunos conhecem o Diagrama de Hertzsprung-Russel – espera-se que em caso positivo eles possam relacioná-los com as características das estrelas como luminosidade e temperatura)
  
- 4) O que são buracos negros? (Objetivo: Investigar quais são as ideias apresentadas pelos alunos para a explicação do fenômeno do buraco negro)
  
- 5) Faça um desenho esquemático de um Buraco Negro representando as suas partes e se possível representar quais são os efeitos causados por ele no espaço-tempo. (Objetivo: Avaliar a capacidade dos estudantes em fazer uma representação gráfica de um fenômeno potencialmente abstrato)

6) Quais são os tipos de Buracos Negros de acordo com as suas características? (Objetivo: verificar se algum estudante já leu sobre o assunto e conhece alguns tipos de buracos negros. Existe a possibilidade de que esta pergunta tenha um alto índice de não ser respondida)

7) Como prevemos a existência de um Buraco Negro? (Objetivo: Analisar a compreensão (caso exista) dos alunos sobre as evidências coletadas por rádio telescópios através de leituras de artigos e/ou notícias)

**ENCONTRO 08 – O FEEDBACK DOS ESTUDANTES (Previsão 1-2 horas aula)**

É importante receber o feedback do público que participou de sua apresentação, então, veremos qual é a impressão deixada pela aplicação da sequência didática e como isso impactou os estudantes. Críticas são sempre bem-vindas com intuito de melhorar o produto e a efetividade da sequência.



## Plano de Aula – Aula 01

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Investigar a presença de prévio conhecimento sobre astronomia através de um pré-teste direcionado aos alunos do Ensino Médio.*

### 3. Objetivos complementares

*Verificar (caso exista) a profundidade e a extensão dos conhecimentos sobre astronomia dos alunos*

*Identificar potenciais estudantes que já possuem afinidade com o tema da aula para estimulá-los ainda mais a se aprofundar nos assuntos relacionados à astronomia.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos básicos sobre o sistema solar, ideias de gravidade, teorias da formação do Universo, conhecimento sobre a nomenclatura dos astros.*

### 5. Metodologia

*A aula será dividida em duas etapas. A primeira etapa contará com uma apresentação sobre o que vai ser a sequência didática aplicada na escola para*

*despertar o interesse dos alunos e incentivá-los a participar de todos os encontros para evitar faltas e conseqüentemente o comprometimento do aprendizdo. A segunda etapa será um pré-teste direcionado para conhecimentos básicos de astronomia que servirá de base para a análise das respostas e dar início ao processo de construção da ideia da Aprendizagem Significativa através do primeiro passo sequencial sugerido por Moreira quando tratamos de uma Unidade de Ensino Potencialmente significativa que é a definição do tópico específico que será estudado e nele, destacar suas características declarativas e procedimentais relacionados de maneira objetiva no qual esse tópico está inserido.*

## **6. Recursos necessários**

*Nesta aula utilizaremos apenas o pré-teste impresso.*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*Partindo do pressuposto da aprendizagem significativa de Ausubel e do uso da UEPS de Moreira, a avaliação partirá do princípio de que o conhecimento prévio é o fator que tem o papel mais importante para o desenvolvimento do aprendizdo do aluno a avaliação será dada através dos conceitos de avaliação qualitativa buscando compreender qual é a real situação do aluno quando confrontado com o tema abordado no teste, ou seja, buscaremos a presença de subsunçores conforme David Ausubel prevê em sua Teoria da Aprendizagem significativa. Vale ressaltar também que neste caso, a nota ou a menção, não seria um bom indicador de avaliação pois conforme notamos em documentos oficiais, muitas vezes a astronomia nem é abordada durante as aulas no percurso acadêmico do aluno, então, devemos ter outra ideia de avaliação.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

### **8.1. Para os alunos.**

*Sugerimos aqui a leitura de um texto básico do Instituto de Física da UFRGS disponível no site: <http://astro.if.ufrgs.br/>*

### **8.2. Para os professores**

*Para os professores é recomendada a leitura do primeiro capítulo do Livro *Astronomia Para Leigos* de Stephen P. Maran. Esse livro foi um grande sucesso de vendas e inclusive ganhou reconhecimento da NASA por ser uma obra muito elaborada.*

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. *Physicae Organum*, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MARAN, S.P.; **Astronomia para Leigos** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012.  
p. 145-230.



## Plano de Aula – Aula 02

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Apresentar o conceito de formação de estrelas baseando-se nas ideias da Gravitação de Newton*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar a origem das estrelas ao longo da história do Universo  
Compreender sobre a organização das estrelas no espaço*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos básicos sobre elementos químicos, para compreender como são descobertos os elementos que formam as estrelas.*

*Conhecimentos básicos sobre gravidade visando o entendimento das interações entre as partículas para a construção da ideia de formação das estrelas*

### 5. Metodologia

*Aula expositiva com debate em sala de aula com os alunos para a melhor absorção do conteúdo explanado para eles através do uso de kit multimídia visando impulsionar o interesse em astronomia.*

*Moreira afirma que: “Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende, essa integração é positiva, construtiva quando a aprendizagem é significativa.”.*

## **6. Recursos necessários**

*Quadro negro/branco, giz/pincel, kit multimídia (projektor de slides)*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*A avaliação será feita através do fortalecimento dos subsunçores dos alunos em que sua participação ativa será de extrema importância durante as indagações feitas pelo professor em sala de aula cuja exposição das situações problemas envolvendo o surgimento das estrelas do universo fornecerão valiosos dados para a construção da Aprendizagem Significativa.*

*Neste caso, seguiremos o segundo passo destacado por Moreira que é criar uma discussão relevante para que os alunos consigam externalizar os seus conhecimentos e alavancar os indícios de uma aprendizagem significativa.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

*Leitura do capítulo sobre Estrelas do livro 50 ideias de astronomia que você precisa conhecer.*

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011a. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 134-138 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 03

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Organizar a classificação das estrelas através da apresentação do Diagrama de Hertzsprung-Russel.*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar quais são os tipos de estrelas existentes no universo*

*Descrever a organização das estrelas associadas às suas características (tamanho, brilho, cor)*

*Compreender a existência de uma curva padrão em que a maioria das estrelas do universo se encaixam.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Capacidade de compreender dados alocados em tabelas e poder interpretá-los de tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa.*

### 5. Metodologia

*Aula expositiva com uso de imagens para facilitar a compreensão dos alunos sobre como as estrelas são classificadas.*



## 6. Recursos necessários

*Kit multimídia, quadro negro/branco, giz/pincel  
Jogo das estrelas impresso.*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*A avaliação será conduzida da seguinte maneira:*

*Na primeira etapa, os alunos serão avaliados com base na participação ativa durante a exposição da aula em que suas opiniões serão expostas e serão corrigidas caso seja necessário.*

*No segundo momento, teremos um exercício impresso alinhado com o aspecto sequencial referente as proposições de situações problemas com nível superficial considerando o conhecimento prévio do aluno para a preparação do terreno visando atingir o objetivo do projeto em que os alunos responderão um questionário elaborado com dados relacionados a diversas estrelas e será requisitado deles a alocação corretas dessas estrelas dentro do diagrama de Hertzsprung-Russel..*

*Neste segundo momento também, poderemos perceber a capacidade de resolver um problema simples de interpretação e relação de dados para a construção do conhecimento.*

### 7.1. Especificação dos elementos formais de avaliação

*Jogo das estrelas → mostrar aos estudantes que quando fornecemos a eles características desses corpos celestes, podemos encontra-las no diagrama. Vale ressaltar que nem sempre esse é um método eficaz, pois muitas vezes as respostas se encontram na internet e os alunos não estão preocupados em aprender, mas sim, entrega-la ao professor simplesmente para receber a nota ou menção necessária para passar. Neste caso, estaremos buscando indícios ou evidencias de desenvolvimento do aprendizado através das respostas dadas no jogo.*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Leitura do Capítulo chamado Diagrama de Hertzsprung-Russel do Livro 50 ideias de astronomia que você precisa conhecer*

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. *Physicae Organum*, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 134-138  
1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 04

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Apresentar um panorama histórico sobre o conceito de Buraco Negro*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar a relação entre a gravidade e a formação dos buracos negros*

*Apresentar a relutância que os físicos tinham em aceitar a existência dos buracos negros*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos sobre gravitação, velocidade da luz, velocidade de escape*

### 5. Metodologia

*Aula teórica expositiva sobre a ideia inicial de buracos negros, em que os alunos terão um tempo para se familiarizar com o conceito e a relação da massa com a gravidade visando buscar a diferenciação progressiva através da aula expositiva e uma breve discussão com a sala para verificarmos se existem dúvidas retroativas que podem prejudicar o bom andamento da aula e conseqüentemente a instabilidade do alicerce para a aprendizagem significativa.*

### 5.1. Estratégias didáticas

*Existirá um momento em que teremos uma breve revisão sobre os tópicos de gravitação universal e velocidade de escape para potencializar/recapitular essas ideias com os alunos visando uma melhor compreensão sobre o tema abordado.*

## 6. Recursos necessários

*Quadro negro/branco, giz/pincel e Kit Multimídia para a projeção dos Slides.*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*Avaliação participativa através de mesa redonda para sanar possíveis dúvidas sobre o assunto. Deve-se perceber também que como o tema é novo, mesmo as mais simples dúvidas devem ser sanadas visando a construção correta do conhecimento para que não exista interferências negativas futuramente.*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Para os professores: Leitura do Capítulo sobre buracos negros do livro *Astronomia para Leigos* de Stephen P. Maran*

*Para os estudantes: Leitura do capítulo Sobre Buracos Negros do Livro *50 Ideias de Astronomia que Você Precisa Conhecer**

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. *Physicae Organum*, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MARAN, S.P.; *Astronomia para Leigos* 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. p. 145-230.

SPARROW, G.; *50 ideias de astronomia que você precisa conhecer*: p. 134-138 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 05

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Apresentar as principais características sobre os Buracos Negros focando em sua estrutura e suas nomenclaturas.*

### 3. Objetivos complementares

*Aproximar mais o aluno com a linguagem utilizada na ciência através de conexões com outras áreas da física.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos relacionados à geometria espacial, mais especificamente a esfera, em que o aluno deverá ser capaz de fazer associações levemente abstratas para compreender melhor a estrutura de um buraco negro.*

### 5. Metodologia

*Neste ponto teremos um aprofundamento nos conceitos de buracos negros já conhecidos apresentando situações problemas com um grau mais alto de complexidade em que serão abordadas as principais estruturas dos Buracos Negros utilizando nomenclaturas mais específicas e elaboradas para a melhor compreensão do assunto.*

### 5.1. Estratégias didáticas

*Uso de questionamentos sobre situações hipotéticas sobre buracos negros para instigar a participação dos alunos em sala de aula.*

*Mesa redonda ao final do encontro para sanar possíveis dúvidas tendo em vista que essa é uma das aulas mais densas em se tratando de conceitos físicos.*

### 6. Recursos necessários

*Quadro Negro/Branco, Giz/Pincel e kit Multimídia*

### 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*Avaliação participativa dos alunos durante a aula através do levantamento das questões indagadas por eles, ou seja, dúvidas que possam surgir ao longo do percurso da aula para serem sanadas.*

### 8. Sugestões de Leituras complementares

*Astronomia para Leigos – capítulo sobre a estrutura dos buracos negros  
Leitura do Artigo Buracos negros: sementes ou cemitérios de galáxias?*

### 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MARAN, S.P.; **Astronomia para Leigos** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. p. 145-230.



## Plano de Aula – Aula 06

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Apresentar os tipos de buracos negros através de suas características.*

### 3. Objetivos complementares

*Aprofundar o conhecimento relacionado a estrutura de Buracos Negros através de inserção de novas ideias a fim de expandir o conceito já aprendido. (aspecto sequencial 5 da UEPS de Moreira)*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Densidade, carga elétrica, campos elétricos, campos magnéticos e movimentos circulares.*

### 5. Metodologia

*Aula expositiva com auxílio do projetor de slides para facilitar a compreensão das novas informações que serão fornecidas.*

#### 5.1. Estratégias didáticas

*Ao término da aula, mesa redonda de tira dúvidas para sanar possíveis questionamentos que ficaram pendentes e evitar que essas questões se acumulem prejudicando o aprendizado do aluno.*

## 6. Recursos necessários

*Quadro Negro/Branco, Giz/Pincel e Kit Multimídia*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*Finalização do ciclo de apresentações da sequência didática com uma retomada de todas as características e conceitos que foram abordados ao longo das aulas buscando uma reconciliação integrativa para que os alunos consigam desenvolver uma ressignificação através de uma breve exposição oral daquilo que foi aprendido. (aspecto sequencial 6 de Moreira)*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Leitura do livro Buracos Negros de Stephen Hawking*

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

HAWKING, Stephen. **Buracos Negros**: palestras bbc reith lectures. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.



## Plano de Aula - 07

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Avaliar de maneira qualitativa o desenvolvimento do aprendizado do aluno*

### 3. Objetivos complementares

*Verificar a existência de vestígios da Aprendizagem Significativa através da análise do conteúdo das respostas dos alunos visando observar o desenvolvimento ao longo das aulas.*

*Analisar as potencialidades de cada aluno individualmente no que se refere a astronomia e incentivá-los a sempre buscar mais conhecimento nesta área.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Formação e Organização de Estrelas conforme o Diagrama de Hertzsprung-Russel;*

*Conceito de Buraco Negro;*

*Formação de Buracos Negros, suas características e classificações.*

### 5. Metodologia

*Sondagem final através de um teste escrito com questões abertas que podem ser respondidas com desenhos ou palavras visando perceber se há ou não indícios da aprendizagem significativa. (aspecto sequencial 7 de Moreira)*

## 6. Recursos necessários

*Teste impresso*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*Análise qualitativa dos resultados através de comparação de respostas da sondagem inicial e final, verificando o desenvolvimento individual de cada aluno procurando sempre por indícios da Aprendizagem Significativa em que a resposta no primeiro teste sofreu mudanças para ter um nível satisfatório de conteúdo e coerência científica.*

*Para buscar as evidências de aprendizagem significativa, como por exemplo, a capacidade de explicar e de aplicar o conhecimento para resolver situações problemas são indícios que existiu de fato uma expansão do conhecimento pois estamos nos baseando em evidências e não em comportamentos finais, ou seja, o famoso “estudar para o teste e simplesmente repetir tudo aquilo que foi dito em sala de aula e reproduzir de maneira mecânica.”. (aspecto sequencial 8 de Moreira).*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Leitura da parte de Avaliação de uma UEPS de Moreira*

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011a. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2020.



## Plano de Aula – Aula 08

### 1. Identificação

Nível de ensino

Instituição

Natureza

Docente responsável

Modalidade

Área do  
conhecimento

Tema da aula

Título (Tópico) da  
aula

Tipo predominante

Duração prevista

### 2. Objetivo principal

*Apresentar aos alunos os resultados da aplicação da Sequência Didática de maneira clara e objetiva para que eles percebam seu desenvolvimento.*

### 3. Objetivos complementares

*Receber dos alunos um posicionamento em se tratando da sequência didática, visando buscar sugestões para melhorias dos pontos que podem ser melhorados.*

*Verificar se existem críticas com relação ao projeto*

*Esclarecer as dúvidas restantes*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Não se faz necessário.*

### 5. Metodologia

*Discussão em grupo para expor os resultados e receber as críticas sobre o projeto com intuito de melhorá-lo para os professores que o utilizarão.*

## **6. Recursos necessários**

*Quadro Negro/Branco, Giz/Pincel*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*Embasando-se nas ideias de Daros e Prado em seu artigo “Feedback no processo de avaliação de aprendizagem no ensino superior.”.*

*Avaliação por feedback é um componente importante para o professor pois assim ele pode verificar se existe ou não pontos a serem melhorados de acordo com as informações fornecidas pelos alunos e também o docente pode mostrar quais seriam os melhores caminhos para que os educandos pudessem continuar na busca de aprimorar seus conhecimentos sobre astronomia.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

*Ler o texto no site abaixo sobre o como tratar o feedback assertivo com os alunos*

<https://gutennews.com.br/blog/2018/10/29/5-dicas-de-como-dar-feedbacks-assertivos-aos-seus-alunos/>

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

# SEQUÊNCIA

# DIDÁTICA



Aplicação online

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

BURACOS NEGROS

**Prof. Guilherme Schinzel**

## SUMÁRIO

Apresentação do projeto .....	175
Prezados professores .....	175
Objetivo Principal .....	175
Objetivos Secundários.....	175
A SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	177

### Apresentação do projeto

#### Prezados professores

Este manual servirá de base para que vocês apliquem esta sequência didática sobre buracos negros utilizando uma metodologia para aulas remotas para os estudantes do Ensino Médio e Anos Finais do Ensino Fundamental. Vale ressaltar que você estará livre para fazer adaptações de acordo com a turma, estrutura física da escola e levar em consideração o acesso dos estudantes a esta sequência didática.

#### Objetivo Principal

Apresentar o conceito de Buracos Negros e suas classificações através desta sequência didática em forma de UEPS, baseando-se nos conceitos de aprendizagem significativa de David Ausubel.

#### Objetivos Secundários

- Verificar os conhecimentos prévios sobre Astronomia;
- Apresentar o conceito de formação e classificação de estrelas;
- Apresentar o diagrama de Hertzsprung-Russel;
- Introduzir e aprofundar os conceitos relacionados ao estudo dos Buracos Negros.



## A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Nesta sequência presencial, teremos uma sugestão de cinco aulas virtuais para que os estudantes consigam acessar e absorvam de maneira adequada os conteúdos necessários. Porém, você pode adaptar de acordo com a sua disponibilidade de horários.

### ENCONTRO 01 – A SONDAÇÃO INICIAL.

Para este encontro, é necessário que a escola e/ou professor tenha acesso a alguma plataforma digital em que se consiga lançar as questões para que os estudantes respondam. A estrutura da construção cabe ao docente, tais como *layout*, esquema de cores e imagens. Fica uma dica aqui para que a “chamada” seja facilitada. Utilize o recurso de grade disponível na plataforma Google Meet, por exemplo;

INFORME SUA SÉRIE E								
	A	B	C	D	E	F	G	H
6° ANO	<input type="radio"/>							
7° ANO	<input type="radio"/>							
8° ANO	<input type="radio"/>							
9° ANO	<input type="radio"/>							
1° ANO E...	<input type="radio"/>							
2° ANO E...	<input type="radio"/>							
3° ANO E...	<input type="radio"/>							
1° ANO E...	<input type="radio"/>							
2° ANO E...	<input type="radio"/>							
3° ANO E...	<input type="radio"/>							

Em seguida é só lançar as perguntas na plataforma. Neste caso fizemos todas as questões discursivas pois é mais perceptível ao professor as sutilezas e peculiaridades de cada resposta.

As questões respondidas pelos estudantes na aplicação deste produto foram estas:

- 1) O que é Astronomia? (Investigar a presença de conhecimento básico sobre astronomia)

---

---

---

---

---

- 2) Como foram/são formadas as estrelas? E como elas são organizadas? (Investigar se o aluno possui um grau um pouco mais elevado de conhecimento de astronomia)

---

---

---

---

---

---

- 3) O que são buracos negros? (Verificar se o aluno possui alguma ideia do que seja esse elemento da astronomia)

---

---

---

---

---

4) Como são formados os buracos negros? (Analisar a capacidade de raciocínio do aluno durante as etapas da formação do buraco negro)

---

---

---

---

---

5) Quais são os efeitos gerados pela gravidade de corpos supermassivos? (Investigar a presença de conhecimentos sobre os efeitos relativísticos causados por esses corpos).

## **ENCONTRO 02 – A FORMAÇÃO DE ESTRELAS.**

Para esta apresentação foi necessária uma adaptação dos Slides propostos para o modelo presencial, transformando-os em um vídeo colocado na plataforma *Youtube*. Vale ressaltar aqui que, para envios de vídeos de mais de 15 minutos, é necessário fazer a verificação da conta do usuário.

Enfatizamos que os vídeos não têm duração equivalente à uma hora de aula, eles se tornaram breves e sucintos não só para que os estudantes não ficassem exaustos de assistir as aulas no computador, mas também que a aula fique mais dinâmica.

Caso o docente queira elaborar seu próprio material, os slides para as alterações necessárias ou até mesmo uma gravação do vídeo de própria autoria do professor, estão disponíveis no link abaixo.

<https://drive.google.com/file/d/14u551vBgkK-F4NjGu2B02BQcM8jFBP00/view?usp=sharing>

Na plataforma inserimos três partes, a primeira, com a vídeo aula, e em seguida duas perguntas breves elencando o conteúdo abordado no vídeo.

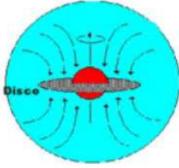
O link para a vídeo aula está abaixo:

<https://youtu.be/XN8JYPxEFYI>

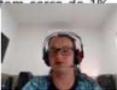
## A formação de Estrelas

UnB

### Evolução de Uma Protoestrela



Na região do centro da protoestrela teremos maiores temperaturas e densidades. A formação do disco é lenta e assemelha-se ao sistema planetário, e por atração gravitacional, a matéria ao seu redor continua se depositando até que essa estrela aumente significativamente sua massa. (Quando esse ciclo se inicia a protoestrela tem cerca de 1% de sua massa final)



Após assistir ao vídeo, você sabe dizer o que é uma estrela? \*

Sim

Não

Escreva um breve parágrafo explicando o que é uma estrela. \*

Long answer text

Vale ressaltar aqui que as respostas dos alunos serão registradas em uma planilha online e que o professor terá acesso ao conteúdo na hora que for necessário.

Para verificar a confiabilidade dos dados é recomendado que os vídeos sejam assistidos, e uma maneira de se fazer isso é verificando o número de visualizações, neste caso, a imagem abaixo mostra quantas vezes este vídeo foi reproduzido.

### AULA 01 FORMAÇÃO DE ESTRELAS

⇒ Não listado

744 visualizações · 7 de nov. de 2020

👍 45

💬 0

➦ COMPARTILHAR

🔖 SALVAR

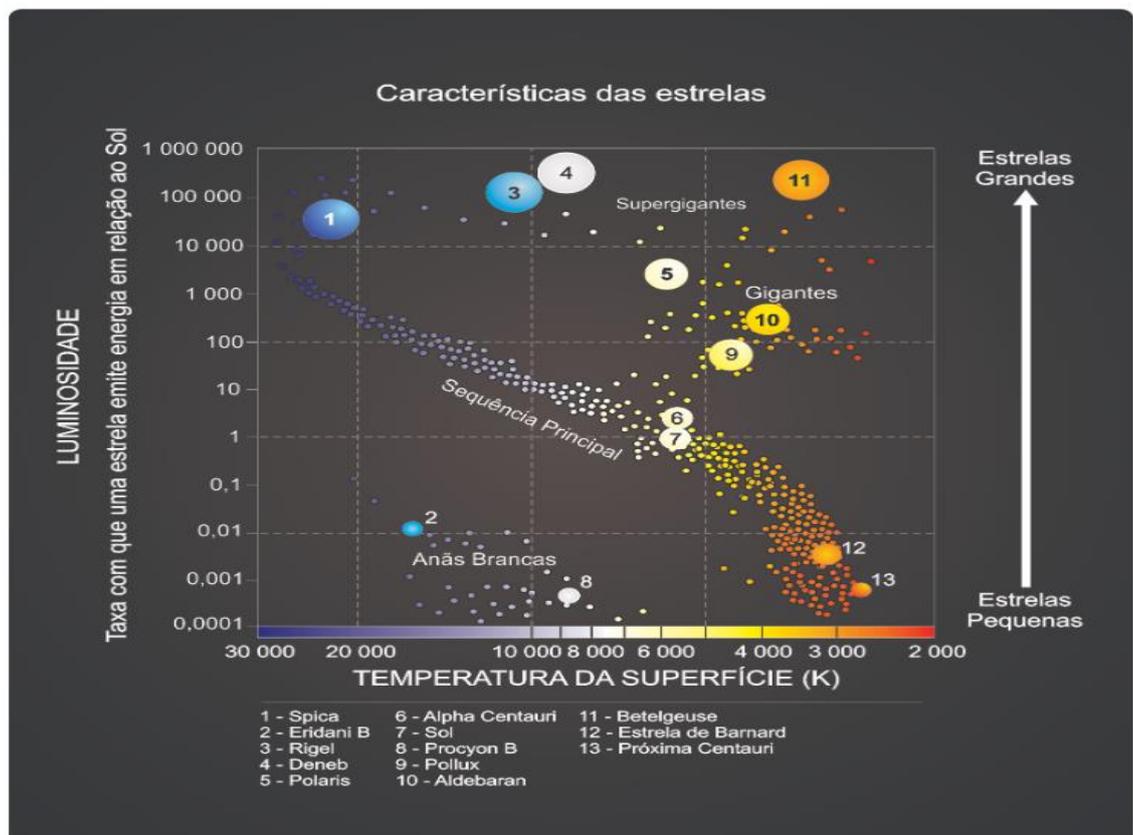
⋮

### ENCONTRO 03 – O Diagrama H-R

Neste encontro abordaremos de maneira mais profunda o processo de formação e classificação das estrelas. Aqui teremos um jogo, que foi retratado no vídeo cujo link estará disponível logo abaixo para que os estudantes participem. É necessário apenas uma caneta ou lápis e um papel.

No vídeo abordamos um pouco do contexto histórico da criação deste método de classificação de estrelas e em seguida faremos o jogo.

Durante o vídeo visualizamos esta imagem:



Neste jogo os estudantes precisarão descobrir de qual estrela o professor está falando. Forneça aos alunos as informações relacionadas à luminosidade e a temperatura e verifique se eles conseguem descobrir de qual Estrela estamos falando. Esse jogo foi muito bem aceito pelos estudantes na primeira aplicação desta material e renderam bons momentos de aprendizado.

No caso da plataforma virtual, fizemos duas perguntas aos estudantes conforme imagem abaixo:

Após assistir ao vídeo, você sabe entendeu como é feita a classificação das estrelas? \*

Sim

Não

Após jogar o jogo, quantas estrelas você identificou? \*

0      1      2      3      4      5

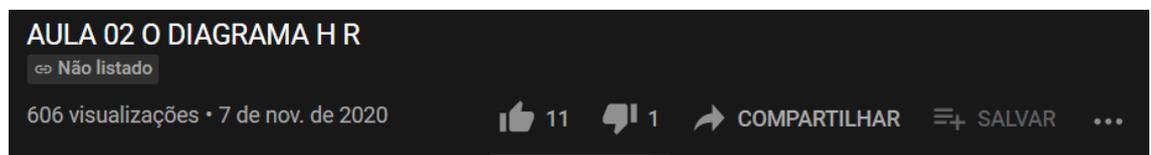
Aqui encontra-se o link para o vídeo da segunda vídeo aula:

<https://youtu.be/7o7DKPBxu-M>

Caso seja do interesse do docente fazer alguma alteração nos slides, segue aqui o link:

<https://drive.google.com/file/d/1pof5ed3lHnTzgeJGev8a47EgiAtpMK2N/view?usp=sharing>

Sobre o número de visualizações deste vídeo temos a imagem abaixo:



## **ENCONTRO 04 - BURACOS NEGROS - UMA DESCOBERTA E A ESTRUTURA DE UM BURACO NEGRO.**

Neste momento serão abordados os aspectos históricos que levaram à descoberta do Buraco Negro. Passaremos por diversas épocas até chegarmos na foto do Buraco Negro tirada no ano de 2019.

Nesta aula também foi enfatizada a importância da pesquisa colaborativa entre diversos pesquisadores de áreas diferentes.

Devido à organização da escola, este encontro teve que ser estendido, ou seja, tivemos a apresentação de dois vídeos/temas. Recomenda-se que, se possível, eles sejam separados.

Para esta vídeo aula o link para o vídeo está disponível abaixo:

<https://youtu.be/KvIkmHxCf7g>

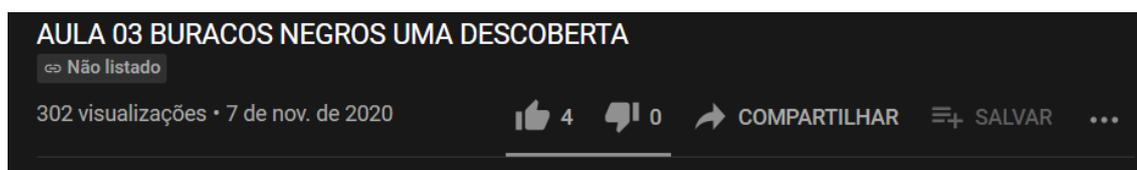
E os slides para alteração e melhorias dos conteúdos estão disponíveis nos links a seguir:

Buracos Negros – Uma descoberta:

[https://drive.google.com/file/d/1LWAX0DYcKhtlj\\_3YpwiRMBT166p0N5-y/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1LWAX0DYcKhtlj_3YpwiRMBT166p0N5-y/view?usp=sharing)

A estrutura do Buraco Negro:

[https://drive.google.com/file/d/1hsb9zItmQsrZKKjhxAcAEvbR\\_o24JKYd/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1hsb9zItmQsrZKKjhxAcAEvbR_o24JKYd/view?usp=sharing)



Para a primeira parte da aula foram feitas as seguintes perguntas:

Após assistir ao vídeo, você conseguiu compreender melhor o contexto histórico dos Buracos Negros? \*

- Sim
- Não
- Parcialmente

Você acredita que a pesquisa colaborativa foi de fundamental importância para a realização da foto do Buraco Negro? \*

- Sim
- Não
- Parcialmente

Continuando com o nosso encontro, tivemos o segundo vídeo

#### AULA 04 A ESTRUTURA DE UM BURACO NEGRO

↔ Não listado

274 visualizações • 7 de nov. de 2020



COMPARTILHAR



SALVAR



E as seguintes questões foram propostas para os estudantes:

Após assistir ao vídeo, você conseguiu compreender o que é um Buraco Negro? \*

- Sim
- Não
- Parcialmente

Escreva brevemente com suas palavras o que é um Buraco Negro. \*

Long answer text

Finalizando a sequência didática, tivemos o último momento assíncrono com o vídeo e a sondagem final. Novamente, devido ao processo logístico da escola fica a recomendação de se separar essas duas atividades.

Link para aprofundamento do conhecimento do professor:

<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/dia-historico-para-a-ciencia-revelada-a-primeira-imagem-de-buraco-negro/>

O link para a vídeo aula fornecida para os estudantes se encontra aqui:

<https://youtu.be/p2THjCktaTk>

E os slides utilizados nesta última aula se encontram neste link.

<https://drive.google.com/file/d/1Q081ZYLL3X4BrgJHrMdByuAb3QOwiGZZ/view?usp=sharing>

O encerramento se dá com a aplicação da sondagem final em que foram respondidas sete questões que estarão listadas abaixo. Após concluída a avaliação para os estudantes, sugere-se que ela seja corrigida da mesma maneira que a sondagem inicial, de modo a procurar por indícios de evolução no aprendizado dos estudantes.

- 1) O que é Astronomia? (Objetivo: verificar a presença de subsunçores relacionados ao conhecimento básico de astronomia)
- 2) Como são formadas as Estrelas? (Objetivo: em um nível mais alto de conhecimento, perceber quais são as ideias dos alunos sobre a formação de estrelas – respostas adequadas deverão conter ideias sobre aglomerados de matéria e ideias de gravitação)
- 3) Como são classificadas as estrelas? (Objetivo: Verificar se os alunos conhecem o Diagrama de Hertzsprung-Russel – espera-se que em

caso positivo eles possam relacioná-los com as características das estrelas como luminosidade e temperatura)

- 4) O que são buracos negros? (Objetivo: Investigar quais são as ideias apresentadas pelos alunos para a explicação do fenômeno do buraco negro)
  
- 5) Faça um desenho esquemático de um Buraco Negro representando as suas partes e se possível representar quais são os efeitos causados por ele no espaço-tempo. (Objetivo: Avaliar a capacidade dos estudantes em fazer uma representação gráfica de um fenômeno potencialmente abstrato)
  
- 6) Quais são os tipos de Buracos Negros de acordo com as suas características? (Objetivo: verificar se algum estudante já leu sobre o assunto e conhece alguns tipos de buracos negros. Existe a possibilidade de que esta pergunta tenha um alto índice de não ser respondida)
  
- 7) Como prevemos a existência de um Buraco Negro? (Objetivo: Analisar a compreensão (caso exista) dos alunos sobre as evidências coletadas por rádio telescópios através de leituras de artigos e/ou notícias)



## Plano de Aula – Aula 01

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do

conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivo principal

*Investigar a presença de prévio conhecimento sobre astronomia através de um pré-teste direcionado aos alunos da escola em todos os níveis em que ele foi aplicado.*

### 3. Objetivos complementares

*Verificar (caso exista) a profundidade e a extensão dos conhecimentos sobre astronomia dos alunos*

*Identificar potenciais estudantes que já possuem afinidade com o tema da aula para estimulá-los ainda mais a se aprofundar nos assuntos relacionados à astronomia.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos básicos sobre o sistema solar, ideias de gravidade, teorias da formação do Universo, conhecimento sobre a nomenclatura dos astros.*

## **5. Metodologia**

*O encontro virtual será dividido em duas etapas. A primeira etapa contará com uma apresentação sobre o que vai ser a sequência didática aplicada na escola para despertar o interesse dos alunos e incentivá-los a participar de todos os encontros, evitando assim faltas e conseqüentemente o comprometimento do aprendizado. A segunda etapa será um pré-teste direcionado para conhecimentos básicos de astronomia que servirá de base para a análise das respostas e dar início ao processo de construção da ideia da Aprendizagem Significativa através do primeiro passo sequencial sugerido por Moreira. Quando tratamos de uma Unidade de Ensino Potencialmente significativa que é a definição do tópico específico que será estudado e nele, destacar suas características declarativas e procedimentais relacionados de maneira objetiva no qual esse tópico está inserido.*

## **6. Recursos necessários**

*Utilizaremos a plataforma online para realizar a apresentação do projeto e o pré-teste.*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*Partindo do pressuposto da aprendizagem significativa de Ausubel e do uso da UEPS de Moreira, a avaliação partirá do princípio de que o conhecimento prévio é o fator que tem o papel mais importante para o desenvolvimento do aprendizado do aluno a avaliação será do tipo qualitativa buscando compreender qual é a real situação do estudante quando confrontado com o tema abordado no teste, ou seja, buscaremos a presença de subsunçores conforme David Ausubel prevê em sua Teoria da Aprendizagem significativa. Vale ressaltar também que neste caso, a nota ou a menção, não seria um bom indicador de avaliação pois conforme notamos em documentos oficiais, muitas vezes a astronomia nem é abordada durante as aulas no percurso acadêmico do aluno, então, devemos ter outra ideia de avaliação.*

### **7.1. Especificação dos elementos formais de avaliação**

*Após a apresentação os estudantes terão que responder a sondagem inicial com questões associadas a diversos níveis cognitivos em que as respostas deverão ser analisadas individualmente e de acordo com a série do estudante. Buscaremos verificar a coerência das respostas para conseguirmos ter um panorama geral das turmas.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

### **8.1. Para os alunos.**

*Sugerimos aqui a leitura de um texto básico do Instituto de Física da UFRGS disponível no site: <http://astro.if.ufrgs.br/>*

### **8.2. Para os professores**

*Para os professores é recomendada a leitura do primeiro capítulo do Livro **Astronomia Para Leigos** de Stephen P. Maran (Alta Books, 2012). Esse livro foi um grande sucesso de vendas e inclusive ganhou reconhecimento da NASA por ser uma obra muito elaborada.*

## **9. Referências**

MARAN, S.P.; **Astronomia para Leigos** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. p. 145-230.

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.



## Plano de Aula – Aula 02

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do

conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivo principal

*Apresentar o conceito de formação de estrelas baseando-se nas ideias da Gravitação de Newton.*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar a origem das estrelas ao longo da história do Universo;  
Compreender sobre a organização das estrelas no espaço.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos básicos sobre elementos químicos, para compreender como são descobertos os elementos que formam as estrelas.*

*Conhecimentos básicos sobre gravidade visando o entendimento das interações entre as partículas para a construção da ideia de formação das estrelas*

### 5. Metodologia

*Aula expositiva através de uma gravação narrada de Power Point em que abordaremos os conceitos das formações de estrelas baseando-se em palavras chaves como nebulosas e gravitação universal.*

*Moreira afirma que: “Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende, essa integração é positiva, construtiva quando a aprendizagem e significativa.”.*

## **6. Recursos necessários**

*Plataforma online;  
Acesso à internet.*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*A avaliação será feita por meio do reconhecimento dos subsunçores dos alunos através de um formulário virtual sobre a aula cuja exposição das situações problemas envolvendo o surgimento das estrelas do universo fornecerão valiosos dados para a construção da Aprendizagem Significativa.*

*Neste caso, seguiremos o segundo passo destacado por Moreira que é criar uma discussão relevante para que os alunos consigam externalizar os seus conhecimentos e alavancar os indícios de uma aprendizagem significativa.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

*Leitura do capítulo sobre Estrelas do livro 50 ideias de astronomia que você precisa conhecer.*

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 134-138  
1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 03

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do

conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivo principal

*Organizar a classificação das estrelas através da apresentação do Diagrama de Hertzsprung-Russel.*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar quais são os tipos de estrelas existentes no universo;*

*Descrever a organização das estrelas associadas às suas características (tamanho, brilho, cor);*

*Compreender a existência de uma curva padrão em que a maioria das estrelas do universo se encaixam.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Capacidade de compreender dados alocados em tabelas e poder interpretá-los de tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa.*

### 5. Metodologia

*Aula gravada utilizando uma plataforma virtual para ser exibida para aqueles estudantes que possuem o link do vídeo.*

## 6. Recursos necessários

*Internet;*  
*Acesso à plataforma online;*  
*Lápis ou Caneta;*  
*Papel*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*A avaliação será conduzida da seguinte maneira:*

*Teremos um exercício alinhado com o aspecto sequencial referente as proposições de situações problemas com nível superficial considerando o conhecimento prévio do aluno para a preparação do terreno visando atingir o objetivo do projeto em que os alunos responderão um questionário elaborado com dados relacionados a diversas estrelas e será requisitado deles a alocação corretas dessas estrelas dentro do diagrama de Hertzsprung-Russel.*

*Neste segundo momento também, poderemos perceber a capacidade de resolver um problema simples de interpretação e relação de dados para a construção do conhecimento.*

### 7.1. Especificação dos elementos formais de avaliação

*Este exercício é em formato de jogo, em que projetaremos uma imagem com diversas estrelas e daremos sinais de suas características e os estudantes deverão tentar adivinhar quais são.*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Leitura do Capítulo chamado Diagrama de Hertzsprung-Russel do Livro 50 ideias de astronomia que você precisa conhecer*

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 66-70 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 04

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do  
conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivos principais

*Apresentar um panorama histórico sobre o conceito de Buraco Negro;  
Apresentar as principais características sobre os Buracos Negros focando em sua estrutura e suas nomenclaturas.*

### 3. Objetivos complementares

*Investigar a relação entre a gravidade e a formação dos buracos negros;  
Apresentar a relutância que os físicos tinham em aceitar a existência dos buracos negros;*

*Aproximar mais o aluno com a linguagem utilizada na ciência através de conexões com outras áreas da física.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Conhecimentos sobre gravitação, velocidade da luz, velocidade de escape;  
Conhecimentos relacionados à geometria espacial, mais especificamente a esfera, em que o aluno deverá ser capaz de fazer associações levemente abstratas para compreender melhor a estrutura de um buraco negro.*

## **5. Metodologia**

*Neste encontro será discutido sobre a ideia inicial de buracos negros, em que os alunos terão um tempo para se familiarizar com o conceito e a relação da massa com a gravidade visando buscar a diferenciação progressiva através da aula expositiva e uma breve discussão com a sala para verificarmos se existem dúvidas retroativas que podem prejudicar o bom andamento da aula e conseqüentemente a instabilidade do alicerce para a aprendizagem significativa.*

*Em seguida teremos um aprofundamento nos conceitos de buracos negros já conhecidos apresentando situações problemas com um grau mais alto de complexidade em que serão abordadas as principais estruturas dos Buracos Negros utilizando nomenclaturas mais específicas e elaboradas para a melhor compreensão do assunto.*

### **5.1. Estratégias didáticas**

*Existirá um momento em que teremos uma breve revisão sobre os tópicos de gravitação universal e velocidade de escape para potencializar/recapitular essas ideias com os alunos, visando uma melhor compreensão sobre o tema abordado.*

*Uso de questionamentos sobre situações hipotéticas sobre buracos negros para instigar a participação dos alunos em sala de aula.*

## **6. Recursos necessários**

*Acesso à plataforma;*

*Acesso à internet.*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*Avaliação online através de um questionário online para verificar quantas estrelas o estudante acertou.*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

*Para os professores: Leitura do Capítulo sobre buracos negros do livro *Astronomia para Leigos* de Stephen P. Maran (Alta Books, 2012).*

*Para os estudantes: Leitura do capítulo Sobre Buracos Negros do Livro *50 Ideias de Astronomia que Você Precisa Conhecer* (Planeta, 2018).*

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física.

Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MARAN, S.P.; **Astronomia para Leigos** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. p. 145-230.

SPARROW, G.; **50 ideias de astronomia que você precisa conhecer**: p. 134-138 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2018.



## Plano de Aula – Aula 05

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do

conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivo principal

*Apresentar os tipos de buracos negros através de suas características.*

### 3. Objetivos complementares

*Aprofundar o conhecimento relacionado a estrutura de Buracos Negros através de inserção de novas ideias a fim de expandir o conceito já aprendido. (aspecto sequencial 5 da UEPS de Moreira)*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Densidade, carga elétrica, campos elétricos, campos magnéticos e movimentos circulares.*

### 5. Metodologia

*Aula gravada expositiva com auxílio da plataforma virtual para a reprodução do vídeo para facilitar a compreensão das novas informações que serão fornecidas.*

## **6. Recursos necessários**

*Acesso à internet;  
Acesso à plataforma.*

## **7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)**

*Finalização do ciclo de apresentações da sequência didática com uma retomada de todas as características e conceitos que foram abordados ao longo das aulas buscando uma reconciliação integrativa para que os alunos consigam desenvolver uma ressignificação através de uma breve exposição oral daquilo que foi aprendido. (aspecto sequencial 6 de Moreira)*

## **8. Sugestões de Leituras complementares**

*Leitura do livro Buracos Negros de Stephen Hawking (Intrínseca – 2016)*

## **9. Referências**

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicaehttp://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>. Acesso em: 16 abr. 2020.



## Plano de Aula - 06

### 1. Identificação

Nível de ensino:

Instituição:

Natureza:

Docente

responsável:

Modalidade:

Área do

conhecimento:

Tema da aula:

Título (Tópico) da  
aula:

Tipo predominante:

Duração prevista:

### 2. Objetivo principal

*Avaliar de maneira qualitativa o desenvolvimento do aprendizado do aluno, buscando evidências de aprendizagem significativa.*

### 3. Objetivos complementares

*Verificar a existência de vestígios da Aprendizagem Significativa através da análise do conteúdo das respostas dos alunos visando observar o desenvolvimento ao longo das aulas.*

*Analisar as potencialidades de cada aluno individualmente no que se refere a astronomia e incentivá-los a sempre buscar mais conhecimento nesta área.*

### 4. Conhecimentos introdutórios relevantes

*Formação e Organização de Estrelas conforme o Diagrama de Hertzsprung-Russel;*

*Conceito de Buraco Negro;*

*Formação de Buracos Negros, suas características e classificações.*

### 5. Metodologia

*Sondagem final através de um teste online com questões abertas que podem ser respondidas com desenhos ou palavras visando perceber se há ou não indícios da aprendizagem significativa. (aspecto sequencial 7 de Moreira)*

## 6. Recursos necessários

*Acesso à plataforma;*

*Acesso à internet;*

*Teste na plataforma*

## 7. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

*Análise qualitativa dos resultados através de comparação de respostas da sondagem inicial e final, verificando o desenvolvimento individual de cada aluno procurando sempre por indícios da Aprendizagem Significativa em que a resposta no primeiro teste sofreu mudanças para ter um nível satisfatório de conteúdo e coerência científica.*

*Tendo em vista evidências de aprendizagem significativa, como por exemplo, a capacidade de explicar e de aplicar o conhecimento para resolver situações problemas são indícios que existiu de fato uma expansão do conhecimento pois estamos nos baseando em evidências e não em comportamentos finais, ou seja, o famoso “estudar para o teste e simplesmente repetir tudo aquilo que foi dito em sala de aula e reproduzir de maneira mecânica.”. (aspecto sequencial 8 de Moreira).*

## 8. Sugestões de Leituras complementares

*Leitura da parte de Avaliação de uma UEPS de Moreira disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)*

## 9. Referências

FERREIRA, M.; FILHO, O. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, 5, n. 1, 2019. 39-44. Disponível em: <Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae<http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/23074/21239>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011a. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2020.