

Mateus Oliveira dos Santos

**Validação de um Sistema de Visualização de  
Algoritmos no Ensino de Provas por Indução  
em Teoria dos Grafos**

Jataí-Goiás

2019

Mateus Oliveira dos Santos

# **Validação de um Sistema de Visualização de Algoritmos no Ensino de Provas por Indução em Teoria dos Grafos**

Monografia apresentada à banca examinadora  
da Universidade Federal de Goiás - Regional  
Jataí como requisito para a obtenção do título  
de bacharel em Ciências da Computação.

Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí - UFG-REJ

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET)

Bacharelado em Ciências da Computação

Orientador: Esdras Lins Bispo Junior

Jataí-Goiás

2019

---

Mateus Oliveira dos Santos

Validação de um Sistema de Visualização de Algoritmos no Ensino de Provas  
por Indução em Teoria dos Grafos/ Mateus Oliveira dos Santos. – Jataí-Goiás,  
2019-

92 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Esdras Lins Bispo Junior

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí - UFG-  
REJ

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET)

Bacharelado em Ciências da Computação, 2019.

1. Educação. 2. Visualização de Algoritmo. 3. Indução. 4. Grafos.

---

Mateus Oliveira dos Santos

# **Validação de um Sistema de Visualização de Algoritmos no Ensino de Provas por Indução em Teoria dos Grafos**

Monografia apresentada à banca examinadora  
da Universidade Federal de Goiás - Regional  
Jataí como requisito para a obtenção do título  
de bacharel em Ciências da Computação.

Trabalho aprovado. Jataí-Goiás, 12 de dezembro de 2019

---

**Esdras Lins Bispo Junior**  
Orientador

---

**Joslaine Cristina Jeske de Freitas**  
Avaliador

---

**Gecirlei Francisco da Silva**  
Avaliador

Jataí-Goiás  
2019

*Este trabalho é dedicado, primeiramente, a Deus, que me deu forças para vencer todas as dificuldades por mais difíceis que elas foram. Aos meus pais, que fizeram de tudo para a faculdade se tornar um sonho possível. Também dedico aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esta longa caminhada e que me apoiaram sempre que possível. E ao meu Professor e Orientador Esdras Lins Bispo Jr. que acreditou no meu potencial e me ajudou desde o início dessa caminhada.*

# AGRADECIMENTOS

*Agradeço à Deus por me conceder sua centelha divina, a vida da qual desfruto todos os dias. Ao meu professor e orientador Esdras Lins Bispo Jr. pelo auxílio na execução deste trabalho, teve muita paciência nas orientações, acreditou em mim e me incentivou bastante durante esses anos. Agradeço aos professores Esdras Teixeira Costa, Gecirlei Francisco da Silva, Joslaine Cristina Jeske de Freitas por fazerem parte da criação deste trabalho cedendo aulas, dando dicas, participando da banca examinadora e ajudando na evolução da monografia. E por último, meu eterno agradecimento a todos os meus amigos. Obrigado pelos conselhos, palavras de apoio e risadas descontraídas, esse TCC também é de vocês.*

*“O tamanho trabalha contra a excelência..”  
(Bill Gates)*

# RESUMO

Algoritmos em grafos é um dos principais interesses de estudo nos cursos de graduação em computação. Uma das dificuldades encontradas por estudantes de Teoria dos Grafos está no momento de fornecer demonstrações a teoremas. Grande parte dos alunos sente dificuldades em visualizar e utilizar de forma correta a demonstração por indução. Atualizações na didática de ensino vem sendo feitas, com o objetivo de transformar processos abstratos em concretos. Há sistemas de visualização de algoritmos (SVAs) que hoje vem sendo utilizados com esse intuito, para visualizar o passo-a-passo de algoritmos e servindo também como um incentivo extra para motivar o aluno. A representação gráfica e a animação de algoritmos também são utilizadas para atrair a atenção dos alunos, ilustrando os conceitos de uma forma visual e estimulando um processo de aprendizagem baseado na prática. Entretanto, há uma carência de trabalhos relacionados ao ensino e aprendizagem de demonstração por indução em grafos, que é uma área muito importante para abstrações e resoluções de problemas na Computação. O SVA *GraphViewer* contribui para método de ensino e aprendizagem com o intuito de auxiliar os alunos que tenham dificuldades no entendimento e compreensão tanto da técnica de demonstração por indução, quanto dos conceitos abordados na disciplina. Porém, os criadores do trabalho apontaram uma lacuna metodológica na validação dos resultados. Problemas em relação à validação estatística do experimento foram apontadas, como, por exemplo, a uniformidade dos grupos durante o experimento e a quantidade de participantes. O objetivo deste trabalho é evidenciar e discutir a validação pelos usuários do SVA *GraphViewer*. Dois subexperimentos foram realizados com a participação de 18 estudantes no primeiro e 35 estudantes no segundo, totalizando 53 estudantes (ao invés de apenas 10) e foi adotado alguns critérios para garantir a distribuição uniforme dos grupos de controle e de teste. No primeiro subexperimento, a utilização do SVA (grupo de teste) garantiu ganhos de aprendizagem que corresponderam a quase o dobro do ganho obtido pelo grupo de controle. Já no segundo subexperimento, não foi tão expressiva a diferença. Também foi constatada a aceitação dos usuários em relação à usabilidade da ferramenta, de forma a ter mais de 75% de avaliações positivas no experimento todo.

**Palavras-chaves:** *Educação, Visualização de Algoritmos; Indução; Grafos.*



# ABSTRACT

Graph algorithms are one of the main study interests in undergraduate Computer Science courses. One of the difficulties encountered by Graph Theory students is in to prove theorems. Most students experience difficulties to visualize and to use the induction demonstration. Updates on teaching didactics have been done, aiming to transform abstract in concrete processes. There are algorithm visualization systems (AVSs) that are being used for this purpose, to visualize the step-by-step algorithms and serving also as an extra incentive to motivate the student. Graphical representation and animation algorithms are also used to attract students' attention by illustrating the concepts in a visual way and stimulating a learning process based on the practice. However, there is a lack of work related to teaching and learning induction demonstration in graphs, which is a very important area for abstractions and problem solving in computing. GraphViewer AVS contributes to teaching and learning methods in order to assist students who have difficulties in understanding of both the induction demonstration technique and the concepts covered in the course. However, the creators of this AVS pointed out a methodological gap in the validation of GraphViewer results. Problems regarding statistical validation of the experiment were pointed out, such as uniformity of groups during the experiment and the number of participants. The purpose of this work is to highlight and discuss the validation by the users of the GraphViewer AVS. Two subexperiments were performed with the participation of 18 students in the first and 35 students in the second, totaling 53 students (instead of just 10) and was adopted some criteria to ensure uniform distribution of control and test groups. In the first sub-experiment, the use of AVS (test group) ensured gains of almost twice the gain obtained by the control group. In the second subexperiment, the difference was not so expressive. It was also found users' acceptance of the usability of the tool so as to have more than 75% positive feedback on the whole experiment.

**Key-words:** *Education; Algorithm Visualization; Induction, Graph.*

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação gráfica do grafo completo $K_5$ (a) e do grafo bipartido $H$ (b).	20
Figura 2 – Representação em grafo de algumas cidades no mapa do estado de Goiás.	21
Figura 3 – Algoritmo recursivo da Divisão.	25
Figura 4 – Captura de tela do SVA Gato.	28
Figura 5 – Exemplo gráfico ilustrando o GAA e GAN.	31
Figura 6 – Fluxograma do procedimento para execução do teste $t$ pareado.	32
Figura 7 – Captura de tela do A- <i>Graph</i> - Grafo resultante após a Busca em Profundidade.	37
Figura 8 – Captura da tela do <i>EasyGrafos</i> - modo de execução.	38
Figura 9 – Captura da tela do Furb <i>Graphs</i> - ferramenta durante a navegação.	39
Figura 10 – <i>GraphViewer</i> : Captura de tela na simulação do pseudocódigo do Teorema 1.	39
Figura 11 – Captura da tela inicial do SVA <i>GraphViewer</i> .	40
Figura 12 – Captura da tela inicial do SVA <i>GraphViewer</i> , com destaque no menu lateral.	40
Figura 13 – Ilustração dos passos que serão executados.	41
Figura 14 – Captura da tela inicial do SVA <i>GraphViewer</i> , com destaques nos botões “Use agora”.	41
Figura 15 – Captura da tela de opções da escolha dos Teoremas.	42
Figura 16 – Captura da tela de escolha do estilo de grafo e quantidade de vértices do grafo escolhido.	42
Figura 17 – Captura da tela de confirmação dos dados escolhidos e geração da animação.	43
Figura 18 – Captura da tela do pseudocódigo em relação ao teorema escolhido, com destaques para as abas.	43
Figura 19 – Captura da tela da demonstração por indução em relação ao teorema escolhido, com destaque para a aba de Demonstração.	44
Figura 20 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2, destaque para a linha 1 do pseudocódigo.	44
Figura 21 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.	45
Figura 22 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.	45

Figura 23 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2. . . . .	46
Figura 24 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2. . . . .	46
Figura 25 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2. . . . .	47
Figura 26 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2. . . . .	47
Figura 27 – Captura da tela do resultado final após executado o processo por completo.	48
Figura 28 – Ilustração do experimento realizado. . . . .	49
Figura 29 – Ilustração da divisão dos subexperimentos. . . . .	50
Figura 30 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Subexperimento 1. . . . .	54
Figura 31 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Subexperimento 1.	55
Figura 32 – Representação gráfica da idade dos participantes do Subexperimento 1.	55
Figura 33 – Representação gráfica do sexo biológico dos participantes do Subexperimento 1. . . . .	56
Figura 34 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora o expediente de estudos do Subexperimento 1. . . . .	56
Figura 35 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 aplicado no Subexperimento 1. . . . .	57
Figura 36 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 aplicado no Subexperimento 1. . . . .	58
Figura 37 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do <i>GraphViewer</i> obtidos com os 9 participantes do grupo de teste do Subexperimento 1	60
Figura 38 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Subexperimento 2. . . . .	61
Figura 39 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Subexperimento 2.	62
Figura 40 – Representação gráfica da idade dos participantes do Subexperimento 2.	63
Figura 41 – Representação gráfica do gênero dos participantes do Subexperimento 2.	63
Figura 42 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora o expediente de estudos do Subexperimento 2. . . . .	64
Figura 43 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 e no Subexperimento 2. . . . .	65
Figura 44 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 e no Subexperimento 2. . . . .	66
Figura 45 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do <i>GraphViewer</i> obtidos com os 17 participantes do grupo de teste do Subexperimento 2.	68
Figura 46 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Experimento.	69

Figura 47 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Experimento. . .	69
Figura 48 – Representação gráfica da idade dos participantes do Experimento. . . .	70
Figura 49 – Representação gráfica do sexo biológico dos participantes do Experimento.	70
Figura 50 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora do expediente de estudos do Experimento. . . . .	71
Figura 51 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 e no Experimento. . . . .	72
Figura 52 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 e no Experimento. . . . .	73
Figura 53 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do <i>Graph Viewer</i> obtidos com os 26 participantes do grupo de teste do Experimento. . .	75

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação algébrica dos grafos $K_5$ e $H$ (ver Figura 1). . . . .	20
Tabela 2 – Tabela comparativa dos trabalhos relacionados, utilizando os cinco aspectos escolhidos (A1 a A5). . . . .	38
Tabela 3 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Subexperimento 1. . . . .	57
Tabela 4 – Teste de Normalidade do Subexperimento 1 . . . . .	59
Tabela 5 – Teste t Dependente - Subexperimento 1 com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ ) . . . . .	59
Tabela 6 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Subexperimento 2. . . . .	64
Tabela 7 – Teste de Normalidade do Subexperimento 2 . . . . .	67
Tabela 8 – Teste t Dependente - Subexperimento 2 com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ ) . . . . .	67
Tabela 9 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Experimento. . . . .	74
Tabela 10 – Teste de Normalidade do Experimento . . . . .	74
Tabela 11 – Teste t Dependente - Experimento com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ ) . . . . .	74
Tabela 12 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Subexperimento 1. . . . .	91
Tabela 13 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Subexperimento 1. . . . .	91
Tabela 14 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Subexperimento 2. . . . .	91
Tabela 15 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Subexperimento 2. . . . .	91
Tabela 16 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Experimento. . . . .	92
Tabela 17 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Experimento. . . . .	92

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTRAL	<i>Animation of Data Structures and Algorithms</i>
CEIE	Comissão Especial de Informática na Educação
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
GAA	Ganho Absoluto
GAN	Ganho Normalizado
GQM	<i>Goal-Question-Metric</i>
K-S	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>
Rin'G	<i>Reflectin'Graphs</i>
TBC-Grafos	Treinamento Baseado em Computador para Algoritmos em Grafos
SBIE	Simpósio Brasileiro de Informática na Educação
SVA	Sistema de Visualização de Algoritmos
TG	Teoria dos Grafos
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>19</b>
2.1	Grafos	19
2.2	Demonstração em Grafos	21
2.2.1	Demonstração Direta	22
2.2.2	Demonstração por Absurdo	22
2.2.3	Demonstração por Indução	23
2.3	Uma visão recursiva da indução	25
2.4	Dificuldades no ensino e aprendizagem de demonstração	25
2.5	Ensino e Aprendizagem de Grafos	26
2.6	Sistemas de Visualização de Algoritmos (SVA)	27
2.7	Avaliação de SVA	29
2.7.1	Métricas para Ganho de Aprendizagem	29
2.7.1.1	Métrica para Ganho de Aprendizagem Absoluta	29
2.7.1.2	Métrica para Ganho de Aprendizagem Normalizado	30
2.7.2	Aspectos de Usabilidade	30
2.8	Testes Estatísticos	31
<b>3</b>	<b>Trabalhos relacionados</b>	<b>34</b>
3.1	Levantamento de Trabalhos	34
3.1.1	Palavras-chaves e Strings de Busca	34
3.1.2	Critérios de Inclusão e Exclusão	35
3.1.3	Aspectos para Análise dos Trabalhos	35
3.2	Análise dos Trabalhos Relacionados	36
<b>4</b>	<b>SVA <i>GraphViewer</i></b>	<b>40</b>
4.1	<i>GraphViewer</i>	40
<b>5</b>	<b>Metodologia</b>	<b>49</b>
5.1	Paradigma GQM	51
5.2	Especificações do GQM	52
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>53</b>
6.1	Resultados Subexperimento 1	53
6.1.1	Descrição Socioacadêmica	53
6.1.2	Análise dos Resultados do Subexperimento 1	55
6.1.3	Ameaças à Validade do Subexperimento 1	60
6.2	Resultados do Subexperimento 2	61
6.2.1	Descrição Socioacadêmica do Subexperimento 2	61

6.2.2	Análise dos Resultados do Subexperimento 2 . . . . .	63
6.2.3	Ameaças à Validade do Subexperimento 2 . . . . .	67
6.3	Resultados do Experimento . . . . .	68
6.3.1	Descrição Socioacadêmica dos Resultados do Experimento . . . . .	68
6.3.2	Análise dos Resultados do Experimento . . . . .	71
6.3.3	Ameaças à Validade do Experimento . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>76</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>77</b>
	<b>Anexos . . . . .</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO A Teoremas . . . . .</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO B Questionários . . . . .</b>	<b>82</b>
B.1	Questionário 1 - Teorema 1 . . . . .	82
B.2	Questionário 2 - Teorema 2 . . . . .	84
B.3	Questionário 3 - Socioacadêmico . . . . .	87
B.4	Questionário 4 - Usabilidade . . . . .	89
	<b>ANEXO C Resultado dos <math>p</math> valores . . . . .</b>	<b>91</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A percepção da aplicabilidade prática da disciplina de Teoria dos Grafos, em cursos de computação, pode ser realizada através de problemas existentes no mundo real ([SANGIORGI, 2006](#)). E, como parte da solução para estes problemas, a modelagem em grafos é realizada, permitindo o uso de algoritmos para a automatização da execução de certas tarefas.

Os algoritmos em grafos é um dos principais interesses de estudo nos cursos de graduação em Computação. Para a Matemática, de uma forma geral, esta área “tem origem relativamente recente (século XVIII)” ([SANTOS; MELLO; MURARI, 2002](#)). Ainda segundo os autores, os algoritmos em grafos “apresentam uma extensiva utilização em matemática aplicada, demonstrando ser uma poderosa ferramenta para a modelagem de diversas situações reais em Física, Química, Biologia, Engenharia Elétrica e Pesquisa Operacional”.

Porém, segundo [Santos e Costa \(2007\)](#), uma das dificuldades encontradas por estudantes de Teoria dos Grafos está no momento de fornecer demonstrações a teoremas. Dificuldades estas que também são comuns a outros estudantes da área de exatas. Grande parte dos alunos, por exemplo, sente dificuldades em visualizar e utilizar de forma correta a demonstração por indução.

A indução matemática é abordada inicialmente no curso de Ciência da Computação normalmente na disciplina Matemática Discreta. Grande parte dos alunos sente dificuldades em visualizar e utilizar de forma correta a demonstração por indução ([CARVALHO, 2017](#)).

Uma forma de melhorar os resultados no processo de aprendizagem é atualizando a didática de ensino em um âmbito geral, transformando processos abstratos em concretos ([SANTOS et al., 2008](#)). Esta atualização pode ser realizada por meio de softwares que possibilitam melhor compreensão dos tópicos abordados e maior interação entre aluno e objeto de trabalho. Há ferramentas de visualização hoje sendo utilizadas com esse intuito, para visualizar o passo-a-passo de algoritmos prontos, visualização das modelagens construídas e servindo também como um incentivo extra para motivar o aluno ([CORDEIRO et al., 2004](#)). Estas ferramentas são chamadas de Sistemas de Visualização de Algoritmos (SVA) ([FINCHER; PETRE, 2004](#)).

Segundo [Manso, Oliveira e Marques \(2009\)](#), os SVAs usam representações gráficas animadas a partir da execução dos algoritmos, permitindo aos alunos vários níveis de interação, desde a validação dos algoritmos construídos até correção de erros, admitindo a possibilidade de teste de novas formas de resolução do problema. A representação gráfica e a animação de algoritmos também é utilizada para atrair a atenção dos alunos, ilustrando

os conceitos de uma forma visual e estimulando um processo de aprendizagem baseado na prática.

Atualmente, existem vários SVAs para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem em grafos. Dentre eles, podemos citar Rin'G (CORDEIRO et al., 2004), TBC-Grafos (SANTOS; COSTA, 2016) e Rox (SANGIORGI, 2006). Entretanto, conforme aponta Carvalho et al. (2017), há uma carência de trabalhos relacionados ao ensino e aprendizagem de demonstração por indução em grafos, que é uma área muito importante para abstrações e resoluções de problemas na Computação.

O trabalho de Carvalho (2017) explorou este recorte de pesquisa através da criação do SVA *GraphViewer*. Foi proposto um método de ensino e aprendizagem com o intuito de auxiliar os alunos que tenham dificuldades no entendimento e compreensão tanto da técnica de demonstração por indução, quanto dos conceitos abordados na disciplina. No *GraphViewer*, o estudante escolhe entre dois teoremas em Teoria dos Grafos que são passíveis de serem demonstrados por indução. Cada um destes teoremas tem um algoritmo recursivo que é apresentado visualmente passo-a-passo utilizando um determinado grafo, escolhido previamente pelo estudante<sup>1</sup>.

Entretanto, uma das fragilidades da proposta de Carvalho (2017) é a validação estatística da metodologia de ensino com uso do *GraphViewer*. Conforme mencionado pelo autor, em suas considerações finais, há uma necessidade de melhorar a qualidade do experimento para que, estatisticamente, os resultados tenham maior validade. Algumas variáveis como a quantidade de alunos e a distribuição homogênea dos grupos, por exemplo, necessitam ser melhor qualificadas para uma análise de resultados mais confiável em termos estatísticos.

Esse trabalho tem como objetivo principal realizar um aperfeiçoamento da validação estatística do experimento realizado por Carvalho (2017). Como objetivos específicos, tem-se (i) o estabelecimento de critérios para garantir a uniformidade dos grupos de controle e de teste do experimento; (ii) a realização do experimento com ao menos cinquenta estudantes; e (iii) a análise dos resultados, investigando o impacto do uso do *GraphViewer* no processo de ensino e aprendizagem em demonstração por indução em Grafos. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, com os alunos do Bacharelado de Ciência da Computação. O projeto de pesquisa, do qual esta proposta de trabalho está vinculada, foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)<sup>2</sup>.

O restante do trabalho está dividido da seguinte forma. No Capítulo 2, é apresentado o referencial teórico. No Capítulo 3, os trabalhos relacionados são elencados e comparados. No Capítulo 4, contém uma demonstração do funcionamento do *GraphViewer*. No Capítulo

<sup>1</sup> Acesso disponível pela URL <<http://visual-graph.herokuapp.com/>>.

<sup>2</sup> Disponível para consulta em <<http://plataformabrasil.saude.gov.br>> sob nº CAAE 79952617.3.0000.5083 e nº de Parecer 2540576.

5, a metodologia utilizada no trabalho e os seus procedimentos são descritos. No Capítulo 6, temos os resultados obtidos. E, no Capítulo 7, a conclusão e indicações de possíveis trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados conceitos fundamentais utilizados neste trabalho. Na Seção 2.1, abordam-se conceitos básicos de grafos. Na Seção 2.2, serão apresentados métodos de demonstrações matemáticas e demonstrações voltadas a grafos. Na Seção 2.3, dar-se-á uma visão recursiva da indução. Na Seção 2.4, apresentam-se alguns problemas do ensino e aprendizagem de demonstrações. Na Seção 2.5, discute-se sobre o ensino e aprendizagem de grafos. Na Seção 2.6, abordam-se os conceitos de sistemas de visualização de algoritmos (SVA). Na Seção 2.7, apresentam-se alguns métodos de avaliação de SVAs. E, na Seção 2.8, o procedimento de teste de hipótese para dois conjuntos de amostras dependente.

### 2.1 Grafos

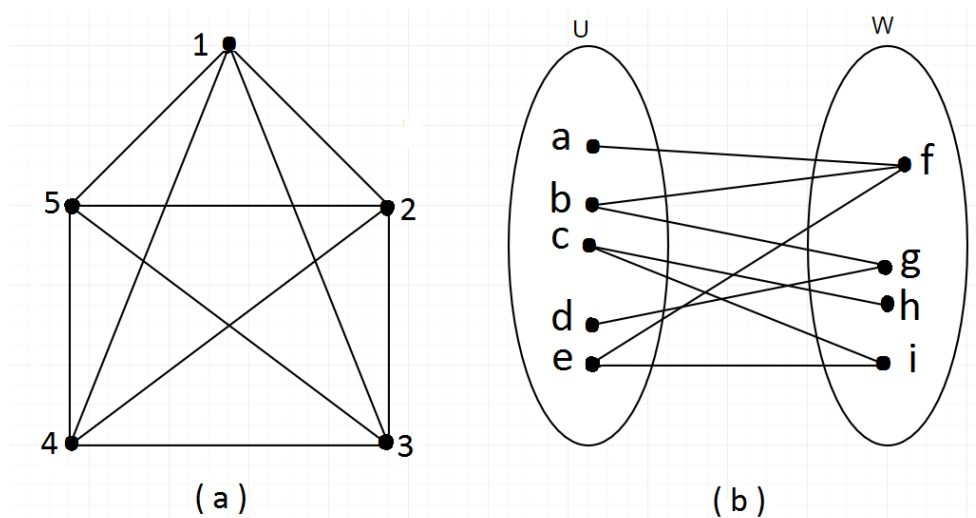
Um grafo  $G$  é formado por uma estrutura contendo dois objetos, sendo eles, um conjunto de vértices ( $V_G$ ) e um conjunto de arestas ( $A_G$ ). Toda aresta é um par não-ordenado de vértices, sendo assim um conjunto com exatamente dois vértices. Seja uma aresta com dois vértices  $\{v, w\}$ . Ela pode ser representada simplesmente como sendo  $vw$  ou  $wv$ . É possível dizer também que uma aresta  $vw$  incide em  $v$  e em  $w$ , e diremos também que  $v$  e  $w$  são pontas da aresta (ou os vértices  $v$  e  $w$  são vizinhos) (FEOFILOFF, 2013).

Dentre os diversos tipos de grafos, existem alguns que possuem características relevantes. Dentre eles, podemos citar o grafo completo e o grafo bipartido. O grafo completo é um grafo que possui uma aresta entre cada par de vértices distintos. Usamos  $K_n$  para representar um grafo completo de  $n$  vértices. A Figura 1 (a) apresenta a representação gráfica do grafo completo  $K_5$ .

Um grafo  $H$  é dito bipartido se existe uma bipartição em  $V_H = U \cup W$ , de forma que todas as arestas de  $H$  tenham uma ponta em  $U$  e outra ponta em  $W$ . Para explicitar a partição, podemos dizer que o grafo é  $\{U, W\}$ -bipartido. A Figura 1 (b) apresenta a representação gráfica de um grafo bipartido.

Além da representação gráfica, é possível representar algebricamente um grafo. A Tabela 1 apresenta a representação algébrica dos grafos existentes na Figura 1, listando todos os elementos dos seus conjuntos de vértices e arestas.

Segundo Gersting (2004), mesmo um grafo tendo uma estrutura bem simples, ele pode representar um número surpreendente de situações que envolvem relações entre seus elementos. Um grafo pode ser utilizado para representar redes de comunicação, mapa da estrutura organizacional de uma empresa, fluxos em rede de transporte, estruturas

Figura 1 – Representação gráfica do grafo completo  $K_5$  (a) e do grafo bipartido  $H$  (b).

Fonte: Próprio autor.

Tabela 1 – Representação algébrica dos grafos  $K_5$  e  $H$  (ver Figura 1).

Grafo	Representação Algébrica
$K_5$	$V(K_5) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ $A(K_5) = \{\{1, 2\}; \{1, 3\}; \{1, 4\}; \{1, 5\};$ $\{2, 3\}; \{2, 4\}; \{2, 5\};$ $\{3, 4\}; \{3, 5\};$ $\{4, 5\};$ $\}$
$H$	$V(H) = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$ $A(H) = \{\{a, f\}; \{b, f\}; \{b, g\}; \{c, h\}; \{c, i\};$ $\{d, g\}; \{e, f\}; \{e, i\}$ $\}$

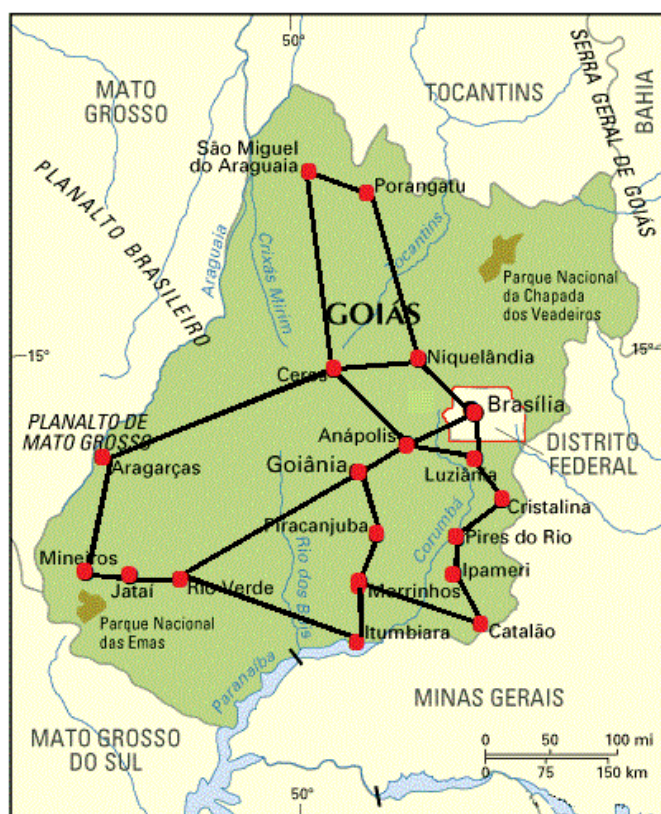
Fonte: Próprio autor.

químicas de uma molécula, e mapas geográficos. Relações binárias, de forma geral, podem ser representadas por grafos e, diante disso, vários problemas interessantes podem ser investigados.

Podemos exemplificar uma aplicação em mapas geográficos, conforme apresentado na Figura 2. Os vértices deste grafo representam cidades do estado de Goiás, e as arestas representam as estradas que ligam estas cidades. Um exemplo muito comum no contexto de mapas geográficos é o gerenciamento de rotas. Para este fim, existem vários algoritmos, sendo o algoritmo de Dijkstra bastante comum e com um bom desempenho. Este algoritmo é um dos mais difundidos para o cálculo de caminho de custo mínimo entre os vértices de um grafo (geralmente utilizado para gerenciamento de rotas)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ver em <<http://www.inf.ufsc.br/grafos/temas/custo-minimo/dijkstra.html>>

Figura 2 – Representação em grafo de algumas cidades no mapa do estado de Goiás.



Fonte: Próprio autor.

## 2.2 Demonstração em Grafos

Segundo [Sousa \(2010\)](#), a Matemática concebe algo como verdade quando isso pode ser demonstrado. Desta forma, as demonstrações matemáticas são ferramentas muito utilizadas por áreas afins da Matemática e fazem parte de todo o contexto da produção de conhecimento de Matemática. Esta área é diferente de outras áreas do conhecimento, pois não utiliza da observação e experimentação como instrumento principal para provar suas verdades.

Em Teoria de Grafos, esta realidade não é diferente. As demonstrações também ocupam um papel de muita importância. Elas são utilizadas muitas vezes para poder provar os teoremas clássicos e para provar também problemas de ordem prática na área ([CARVALHO, 2017](#)).

Existem vários tipos de demonstrações. O uso de cada um deles depende da aplicação ou do problema a ser provado. Serão apresentados a seguir alguns desses tipos como a demonstração direta (Seção [2.2.1](#)), a demonstração por absurdo (Seção [2.2.2](#)) e a demonstração por indução (Seção [2.2.3](#)).

### 2.2.1 Demonstração Direta

Uma prova é dita direta (ou por construção) quando pressupõe verdadeira a hipótese e, a partir desta, prova ser verdadeira a tese (MENEZES, 2013). Segue um exemplo. Considere o teorema:

**Teorema 3.** *A soma de dois números pares é um número par.*

Ou seja, se  $n$  e  $m$  são dois números pares quaisquer, então  $n + m$  é um número par.

Inicialmente, lembre-se que qualquer número par  $n$  pode ser definido como  $n = 2r$ , para algum natural  $r$ . Suponha que  $n$  e  $m$  são dois números pares. Então existem  $r, s \in \mathbb{N}$  tais que  $n = 2r$  e  $m = 2s$ . Desta forma,

$$n + m = 2r + 2s = 2(r + s) \quad (2.1)$$

Como a soma de dois números naturais  $r + s$  é um número natural, vale  $n + m = 2(r + s)$ . Logo,  $n + m$  é um número par ■

### 2.2.2 Demonstração por Absurdo

Este método é considerado uma das ferramentas mais poderosas da Matemática. De um modo geral, o roteiro que segue uma demonstração por redução ao absurdo é o seguinte:

- (i) Assumimos a validade da hipótese e supomos que a nossa tese é falsa;
- (ii) Usando as duas informações anteriores, concluímos um “absurdo”, ao chegar a uma proposição que contradiz uma suposição levantada anteriormente (MOTA; CARVALHO, 2011).

Para fins de ilustração, segue este teorema como um exemplo:

**Teorema 4.** *Se um número somado a ele mesmo é igual a ele mesmo, então esse número é 0.*

Vamos representar por  $x$  um número qualquer. A hipótese é que  $x + x = x$  e a conclusão é que  $x = 0$ . Para demonstrar por absurdo, suponha que  $x + x = x$  e  $x \neq 0$ . Então  $2x = x$  e  $x \neq 0$ . Como  $x \neq 0$ , podemos dividir ambos os lados da equação  $2x = x$  por  $x$ , obtendo  $2 = 1$ , uma contradição. Portanto,  $(x + x = x) \rightarrow (x = 0)$  (GERSTING, 2004).

A demonstração por absurdo é utilizada em grafos para provas, teoremas, lemas e corolários, sendo assim de grande valor. Vamos apresentar um exemplo em que a prova por absurdo resolve um problema bem conhecido em grafos:

**Teorema 5.** *Todo grafo, com pelo menos dois vértices, tem dois vértices com o mesmo número de vizinhos.*

Prova por absurdo: Vamos supor por momento que todos os graus dos vértices de um grafo são diferentes. Se isto é verdade, então só há uma forma de  $G$ , com vértices  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , dispor os graus dos seus vértices:

$$\begin{aligned} d(v_n) &= n - 1, \\ d(v_{n-1}) &= n - 2, \\ &\vdots \\ d(v_1) &= 0. \end{aligned}$$

Ora, isso é um absurdo, pois se  $d(v_n) = n - 1$ ,  $v_n$  tem vizinhança com todos os vértices em  $G$ . Portanto, nenhum outro vértice poderia ter grau 0 (CARVALHO, 2017) ■

### 2.2.3 Demonstração por Indução

O Princípio da Indução é uma ferramenta muito importante para demonstrar a realidade dos números naturais. Entender o Princípio da Indução conduz naturalmente ao entendimento aprofundado do conjunto dos números naturais. Logo, é importante conhecer o seu significado e sua capacidade dentro da Matemática.

Vamos mostrar como ele funciona. Imagine, por um momento, que você está subindo uma escada infinitamente alta. Como você sabe se será capaz de chegar a um degrau arbitrariamente alto? Suponha que você faça as seguintes hipóteses sobre sua capacidade de subir:

- (i) Você consegue alcançar o primeiro degrau;
- (ii) Uma vez chegando a um degrau, você sempre é capaz de chegar ao próximo (note que essa asserção é um condicional).

Se a proposição (i) e o condicional (ii) são ambos verdadeiros, então, pela proposição (i), você consegue chegar no primeiro degrau e, portanto, pela proposição (ii), consegue chegar no segundo. Novamente, pela proposição (ii), você consegue chegar no terceiro degrau, mais uma vez; pela proposição (ii), você consegue chegar no quarto degrau, e assim por diante.

Você pode subir tão alto quanto quiser. Ambas as hipóteses são necessárias. Se apenas a primeira proposição for verdadeira, você não teria garantia de passar do primeiro degrau. Se apenas a segunda for verdadeira, você poderia não ser capaz de começar nunca (STEIN; DRYSDALE; BOGART, 2005).



Ao fazer uma demonstração por indução, primeiramente mostramos a veracidade do primeiro passo, que é chamado de base da indução ou passo básico da demonstração por indução. Depois, mostramos a veracidade do passo que chamamos de passo indutivo, que é  $P(k) \rightarrow P(k+1)$ . Quando supomos que  $P(k)$  é verdade para provar o passo indutivo,  $P(k)$  é chamada de hipótese da indução (GERSTING, 2004).

O método de demonstração por indução é bem utilizado em grafos para provar alguns teoremas básicos. A seguir, será apresentada uma demonstração utilizando este método.

**Teorema 6.** *Toda árvore com  $n$  vértices tem  $n - 1$  arestas (para  $n \geq 1$ ).*

Prova por Indução:

- **Caso Básico:** Toda árvore com um vértice tem zero arestas. Este passo é verdadeiro já que a única aresta que poderia existir seria uma aresta laço. Como o grafo simples (não-direcionado) não admite laços, logo não pode haver nenhuma aresta.
- **Hipótese Indutiva:** Suponha que a fórmula seja verdadeira para  $n = k$ , isto é:  
“Toda árvore com  $k$  vértices tem  $k - 1$  arestas (para  $k \geq 1$ )”.
- **Passo Indutivo:** Se a fórmula é verdadeira para  $n = k$  então deve ser verdadeira para  $n = k + 1$ , isto é:  
“Toda árvore com  $k + 1$  vértices tem  $k$  arestas (para  $k \geq 1$ )”.

Deve-se provar a afirmação acima. Seja uma árvore  $G$  com  $k$  vértices e  $k - 1$  arestas. Vamos criar uma árvore  $H$  a partir de  $G$ , acrescentando um vértice  $v$ . Se  $v$  não for conectado a nenhum vértice de  $G$ , então  $H$  será uma floresta e não uma árvore.

Logo, temos que acrescentar uma aresta para não termos uma floresta. Esta aresta deve ser incidente a  $v$  e a algum outro vértice  $w$  de  $H$ . O acréscimo dessa aresta mantém a propriedade da árvore para  $H$  (grafo sem circuitos). Isto é verdade, pois existe apenas um único caminho entre  $v$  e  $w$  e, conseqüentemente, com qualquer outro vértice de  $H$ .

Note que se acrescentarmos uma segunda aresta incidente a  $v$  e a um outro vértice de  $H$ , passaremos a ter um circuito, o que deixa de caracterizar uma árvore. Ou seja, não podemos acrescentar mais de uma aresta incidente a  $v$ .

Assim, ao acrescentarmos um vértice à árvore  $G$  com  $k$  vértices e  $k - 1$  arestas, passaremos a ter uma árvore  $H$  com  $k + 1$  vértices e  $k$  arestas (CARVALHO et al., 2017)■

## 2.3 Uma visão recursiva da indução

Há muitas semelhanças entre a indução e a recursão (recursividade). Estas semelhanças são facilmente reconhecidas por aqueles que estão familiarizados com a estrutura de programas recursivos. Isto acontece porque ambas usam as mesmas estruturas de definições, que seriam separadas em duas partes:

- (i) uma base, ou condição básica, em que alguns casos simples do item são definidos explicitamente;
- (ii) um passo de indução, ou recorrência, em que novos casos do item são definidos em função de casos anteriores (STEIN; DRYSDALE; BOGART, 2005).

A parte (i) é onde começamos, é a condição inicial, através de alguns casos simples e explícitos. A parte (ii) nos permite construir novos casos que são criados a partir destes simples, e ainda construir outros, a partir desses novos, e assim por diante.

Segue, na Figura 3, um algoritmo recursivo. Neste algoritmo, é apresentada como fazer uma divisão de dois números inteiros positivos  $m$  e  $n$ .

Figura 3 – Algoritmo recursivo da Divisão.

---

**Algoritmo -** Divisão (Cálculo recorrente da divisão de  $m$  e  $n$ )

---

DIVISÃO(inteiro  $m$ , inteiro  $n$ )

1. **se**  $m = 1$  **então**

2.     **retorne**  $\frac{1}{n}$

3. **senão**

4.     **retorne**  $\text{DIVISÃO}(m - 1, n) + \frac{1}{n}$

5. **fim se**

---

Fonte: Próprio autor.

## 2.4 Dificuldades no ensino e aprendizagem de demonstração

Durante o ensino fundamental e médio, a matemática que é ensinada aos alunos é basicamente simbólica e cheia de fórmulas que surgem sem ser demonstradas, explicadas ou justificadas. Os alunos não têm a necessidade de uma reflexão mais profunda sobre o que se está fazendo, sobre como surgiram aquelas fórmulas “mágicas”, gerando uma formação estreita e acrítica (BATISTA; NAGAFUCHI, 2010).

Para [Nasser \(2004\)](#), os alunos entram no ensino superior com sérias deficiências em matemática básica, principalmente no entendimento de demonstrações, e não conseguem usufruir dos artifícios da matemática e de seus métodos.

Para [Carvalho \(2004\)](#), existem outros problemas. Há registros de alunos que se dizem confusos entre o que é hipótese e tese e há queixas relativas à excessiva ansiedade gerada pelo conteúdo ensinado. Ele ainda fala que para alguns alunos é a primeira vez que se deparam com demonstrações, causando ansiedade. Demonstração é um grande desafio para o aluno, e ele vê os argumentos do professor como “obscuros”.

## 2.5 Ensino e Aprendizagem de Grafos

A Teoria dos Grafos (TG) é inerentemente abstrata e de alto nível e, assim, algumas estruturas em grafos que não sejam representadas de forma visual podem ser de difícil compreensão. Estas descrições podem exigir, portanto, um maior esforço cognitivo para a correspondência entre a representação clássica gráfica e a representação numérica fornecida geralmente na forma de matrizes ou listas de adjacências ([CORDEIRO et al., 2004](#)).

Os alunos do curso de Ciência da Computação apresentam dificuldades de entendimento em grafos na parte de demonstrações em geral. Além disso, ao longo dos anos, eles vêm demonstrando dificuldades na hora de entender os algoritmos clássicos de grafos como, Dijkstra, Bellmann-Ford, Kruskal e outros de importância na formação de profissionais da área.

Ainda segundo [Cordeiro et al. \(2004\)](#), quando os alunos estudam as técnicas envolvidas na implementação de algoritmos em grafos, eles normalmente criam, mentalmente (ou através de desenhos), visualizações da execução desses algoritmos. Porém, não é um método que é sempre aceitável em termos de compreensão de algoritmos.

Outros problemas relacionados à aprendizagem de algoritmos e programação pelos discentes, apresentado por [Santos et al. \(2008\)](#), são:

- (i) a falta de motivação do estudante, que está associada a alguns rótulos ruins sobre a disciplina, como alto teor de complexidade;
- (ii) o modelo dos cursos com natureza teórica-prática e presencial, que consiste em provas periódicas e trabalhos de programação, de forma a poder deixar o aluno tenso, prejudicando seu aprendizado;
- (iii) o contato entre o docente e discente, quando o docente se atenta em exibir apenas o que sabe, recusando um ambiente de aprendizagem relaxado e colaborativo;
- (iv) a falta de uma boa didática ou de uma metodologia de ensino adequada; e

- (v) a falta de interação entre os docentes das várias disciplinas, buscando tornar as atividades de um modo mais integrado.

As demonstrações são apresentadas inicialmente no curso de Ciências da Computação aos alunos na disciplina Matemática Discreta. Depois, elas costumam ser apresentadas aos alunos de Teoria dos Grafos, em que existem vários problemas que necessitam de provas ou demonstrações e que podem ser implementados algoritmos para tais problemas. As demonstrações em grafos, na maioria das vezes, não são de fácil entendimento. Muitas vezes, estes problemas estão ligados aos alunos que não tiveram uma formação anterior adequada e também pelo fato de alguns problemas em grafos não serem muito comuns.

Com o foco em melhorar os futuros profissionais da área, destaca-se o desenvolvimento de ferramentas para apoiar o ensino de algoritmos e programação, como a ferramenta de [Pimentel et al. \(2003\)](#). Estas ferramentas têm como foco as abstrações de estruturas de dados e de grafos, com o objetivo de propiciar atividades práticas de laboratório. Estas ferramentas são chamadas de sistemas de visualização de algoritmos (SVA). Nestes sistemas, os alunos podem visualizar o processo de execução de seus algoritmos, tornando-o assim mais claro. Logo, os SVAs auxiliam no processo de ensino e aprendizagem, tanto em relação ao aluno quanto em relação ao professor.

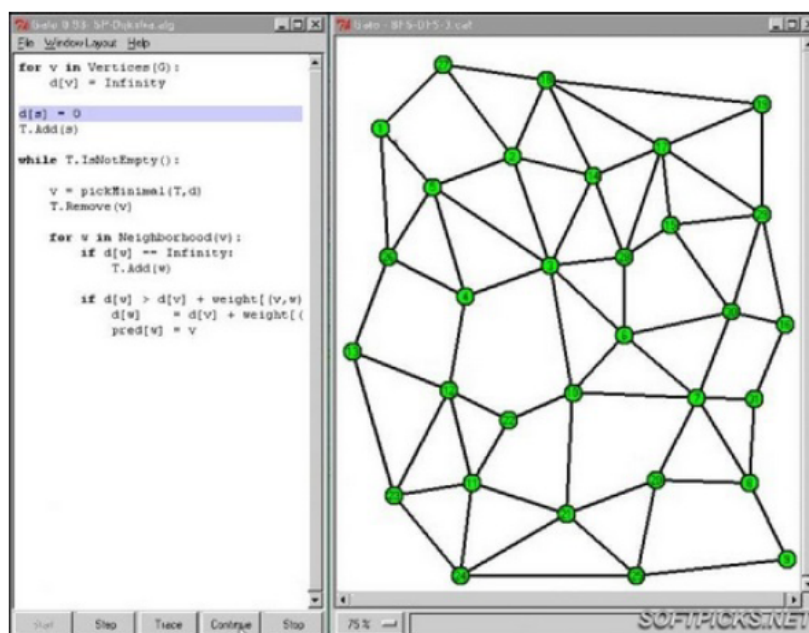
## 2.6 Sistemas de Visualização de Algoritmos (SVA)

As ferramentas chamadas de Sistemas de Visualização de Algoritmos (SVAs) têm como um de seus objetivos proporcionar ao discente uma experiência mais agradável sobre programação e estudo de algoritmos. Nestes sistemas, é possível visualizar a execução de algoritmos, fornecendo ao discente uma visualização gráfica da sua execução, podendo ser em forma de grafos, fluxogramas, etc.

Existem diversos SVAs que foram construídos para o ensino de algoritmos e programação. No entanto, cada SVA apresenta um foco relacionado às necessidades específicas de seus usuários. Na Figura 4, têm-se um exemplo de SVA. O SVA Gato é um software que permite a visualização de algoritmos em grafos e executa algoritmos simples como encontrar um caminho mais curto, a rota mais rápida, entre outros.

Os SVAs utilizam certas linguagens de representação (por exemplo, fluxograma, grafos) para representar a estrutura do algoritmo. Eles têm como principal vantagem o fato de poderem utilizar formas gráficas para a representação do algoritmo. Independentemente de ser usada uma linguagem convencional ou pseudocódigo, a ferramenta deve permitir a tradução do algoritmo expresso em uma linguagem gráfica para uma forma de representação em código fonte ([MANSO; OLIVEIRA; MARQUES, 2009](#)). Existem vários SVAs, dos quais podemos mencionar o SICAS, o Astral e o VisuAlg.

Figura 4 – Captura de tela do SVA Gato.



Fonte: (SCHLIEP; HOCHSTÄTTLER, 2002).

SICAS é um software educativo que tem o objetivo de ajudar os alunos na aprendizagem de algoritmos, utilizando de fluxogramas como linguagem de representação. É um sistema que está destinado aos alunos iniciantes na programação. Ele procura facilitar a compreensão de algoritmos e de programas subjacentes, ajudando o aluno a perceber os comandos que estão sendo executados e as alterações dos valores das variáveis. Também favorece o estudante a detectar erros, a verificar se o algoritmo cumpre com os objetivos iniciais do problema, através do ambiente de visualização. Permite também a obtenção automática de código-fonte em C++, em JAVA e em pseudocódigo, correspondente ao fluxograma criado pelo aluno (REBELO et al., 2005).

ASTRAL (*Animation of Data Structures and Algorithms*) (GARCIA; REZENDE; CALHEIROS, 1997) é um ambiente de programação para produção de animações de algoritmos e estruturas de dados com propósito instrucional. O ambiente foi desenvolvido no Instituto de Computação da UNICAMP no período de 1995-97 para plataforma Macintosh e recentemente portado para Windows. Utilizando o ambiente, um usuário pode implementar uma variedade de estruturas de dados e algoritmos e, através de chamadas de algumas rotinas específicas do ambiente, é possível visualizar graficamente as estruturas de dados bem como animações dos algoritmos (SANTOS; COSTA, 2016).

O VisuAlg é uma plataforma utilizada no início das disciplinas de programação, para executar e depurar pseudocódigos e tem algumas funções úteis como execução passo a passo, visualização do conteúdo das variáveis, entre outras (SOUZA, 2009).

## 2.7 Avaliação de SVA

Nesta seção, vamos apresentar algumas formas utilizadas para avaliações de sistemas de visualização de algoritmo. As métricas (Seção 2.7.1) são usadas para medir quantitativamente o ganho de aprendizagem de antes, comparando ao ganho obtido depois do uso do SVA. Outro método utilizado para avaliar o SVA é através dos aspectos de usabilidade (Seção 2.7.2).

### 2.7.1 Métricas para Ganho de Aprendizagem

Métricas de ganhos de aprendizagem são utilizadas para medir os ganhos de forma quantitativa. Elas consideram a quantidade de acertos inicial e a quantidade de acertos após determinado teste, no nosso caso o impacto do uso de um SVA. Nosso trabalho, utiliza duas métricas: a de Ganho Absoluto (Seção 2.7.1.1) e de Ganho Normalizado (Seção 2.7.1.2).

#### 2.7.1.1 Métrica para Ganho de Aprendizagem Absoluta

Com o propósito de definir o ganho de aprendizagem absoluta, serão apresentadas a seguir as funções 2.2, 2.3 e 2.4:

$$Acerta(x, q) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \text{ acerta } q, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (2.2)$$

em que  $x$  é um estudante respondendo à questão  $q$ ;

$$Corretas(q) = \sum_{x \in T} Acerta(x, q) \quad (2.3)$$

em que  $T$  é uma turma de  $n$  estudantes; e

$$Media_{Cor}(Q) = \frac{\sum_{q \in Q} MediaCorretas(q)}{m} \quad (2.4)$$

em que  $Q$  é um conjunto de  $n$  perguntas e  $m$  é o total de respostas possíveis.

Define-se  $Q_{pré}$  e  $Q_{pós}$  como o questionário  $Q$  realizado anteriormente e posteriormente a um dado momento do experimento, respectivamente. Assim, define-se o ganho de aprendizagem absoluta (GAA) como se segue:

$$GAA = Media_{Cor}(Q_{pós}) - Media_{Cor}(Q_{pré})$$

A ideia subjacente desta métrica é aferir o ganho de aprendizagem após uma dada intervenção. Suponha que uma determinada turma obteve 51% de acerto no conjunto  $Q_{pré}$

e, após a discussão em grupos, obteve 72% de acertos no conjunto  $Q_{pós}$ . Logo, seu GAA seria 21%.

### 2.7.1.2 Métrica para Ganho de Aprendizagem Normalizado

O ganho de aprendizado normalizado (GAN)<sup>2</sup> (HAKE, 1998, p. 3) fornece uma medida de como o desempenho do estudante cresce, se comparado com o maior crescimento possível que ele possa obter. O GAN é calculado como se segue:

$$GAN = \frac{Media_{Cor}(Q_{pós}) - Media_{Cor}(Q_{pré})}{100\% - Media_{Cor}(Q_{pré})}$$

No exemplo dado na seção anterior, enquanto que o GAA seria 21%, o GAN seria  $(72\% - 51\%)/(100\% - 51\%) \cong 42,86\%$ . Assim, de todo o ganho de aprendizagem restante disponível, aproximadamente 42,86% foi obtido através da intervenção.

Um outro exemplo pode ser mais ilustrativo. Imagine dois cenários em que o GAA é de 10% para duas turmas  $A$  e  $B$  quaisquer. Entretanto, a turma  $A$  tem  $Media_{Cor}(Q_{pré}) = 20\%$  e  $Media_{Cor}(Q_{pós}) = 30\%$ , enquanto que a turma  $B$  tem  $Media_{Cor}(Q_{pré}) = 80\%$  e  $Media_{Cor}(Q_{pós}) = 90\%$ . Ora, deve ser bem mais difícil obter um GAA de 10% quando se parte de 80% do que quando se parte de 20%. O GAN tem por objetivo medir esta dificuldade relativa, de forma que o  $GAN_A = 12,5\%$  e o  $GAN_B = 50,0\%$ .

Um exemplo gráfico do GAA e GAN pode ser visto na Figura 5. Na imagem, A1 e A2 são alunos 1 e 2 respectivamente. É possível identificar que o GAA é igual para ambos os alunos, porém, o A2 tem o GAN igual a 0,5 que é superior ao GAN do A1 que é 0,125. Mesmo sendo igual o GAA de ambos, o ganho normalizado do aluno A2 é mais significativo que o do aluno A1.

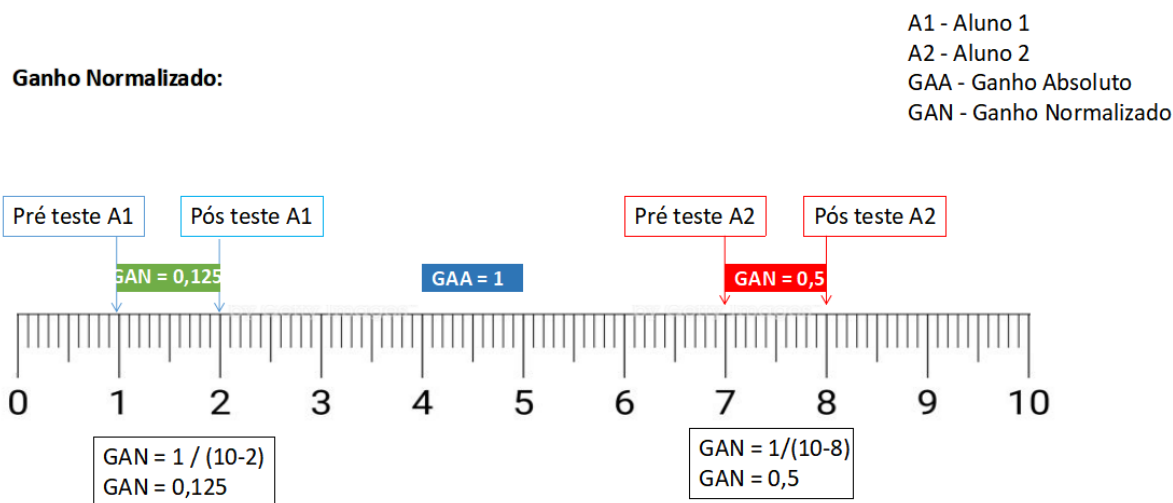
## 2.7.2 Aspectos de Usabilidade

Para a criação do Questionário 4, foram utilizados alguns aspectos de usabilidade. Segundo Gladcheff, Sanches e Silva (2001), os aspectos de usabilidade contém cinco atributos que são tradicionalmente associados a características de usabilidade, sendo:

1. **Facilidade de Aprendizado** — o uso do sistema deve ser fácil de aprender, de forma que o usuário possa começar a interagir rapidamente;
2. **Eficiência de uso, uma vez aprendido** — uma vez que o usuário aprendeu a utilizar o sistema, é preciso que tenha um elevado nível de produtividade;

<sup>2</sup> da expressão em inglês “normalized change”

Figura 5 – Exemplo gráfico ilustrando o GAA e GAN.



Fonte: Próprio autor.

3. **Facilidade de Retorno** — é preciso que o usuário, ao voltar a usar o sistema após um certo tempo, lembre-se facilmente de como deve utilizá-lo;
4. **Frequência de Ocorrência e Seriedade dos Erros** — o erro, neste contexto, é definido como uma ação do usuário que não leva ao resultado esperado. É preciso que o sistema não leve o usuário a cometer muitos erros durante sua utilização;
5. **Satisfação Subjetiva** — o sistema deve ser agradável, de forma que o usuário fique satisfeito ao utilizá-lo.

Fazer a validação de usabilidade é uma prática bastante comum em SVAs (SOARES et al., 2004; SANTOS et al., 2008; MANSO; OLIVEIRA; MARQUES, 2009; CARVALHO, 2017). O GQM é um método que vem sendo utilizado para auxiliar nessa validação de usabilidade.

## 2.8 Testes Estatísticos

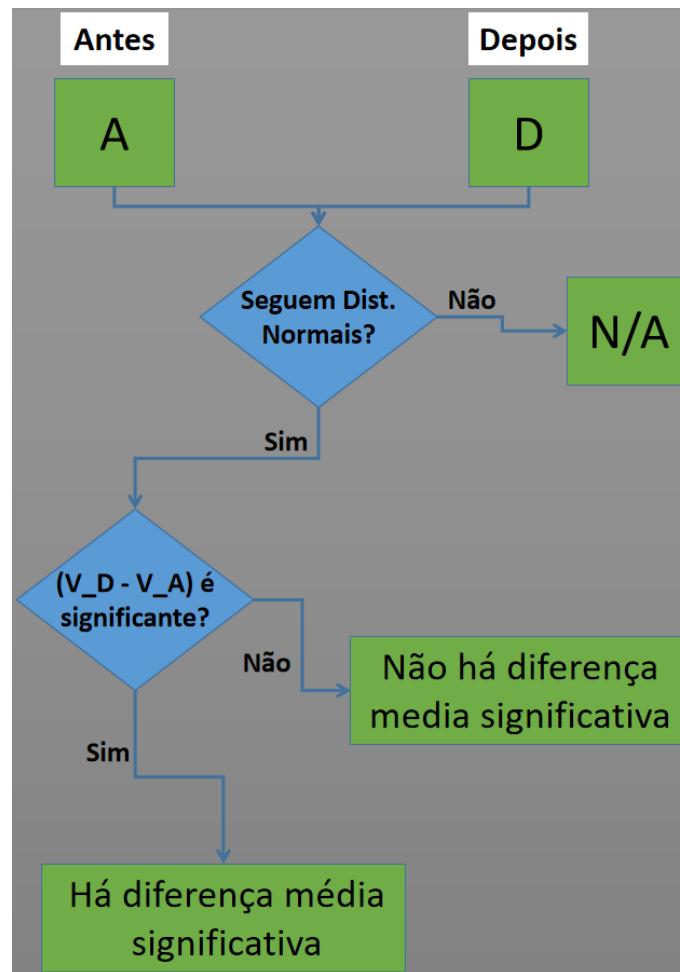
Utilizamos os Questionários 1 e 2 (ver Anexo B) para medir quantitativamente os acertos dos alunos em duas situações, antes e após a intervenção. Para cada aluno, temos uma nota adquirida possibilitando calcular os ganhos obtidos (ver Seção 2.7.1). Existem testes para o nível de significância dos resultados obtidos dessa forma (em duas situações diferentes com o mesmo grupo de pessoas), chamados de testes pareados. Eles podem utilizar os resultados do ganho de aprendizagem absoluta (GAA) para testar se são estatisticamente significativos em relação a população da amostra.

A estrutura do procedimento da execução do teste pareado é apresentada na Figura 6. Os requisitos para o teste pareado é a normalidade de cada conjunto de notas obtido,



tanto no conjunto obtido na primeira situação (antes da intervenção) quanto no conjunto obtido na segunda situação (depois da intervenção). Se os dois conjuntos de notas seguem uma distribuição normal, é possível fazer o teste pareado. Caso um dos conjuntos não seguir uma distribuição normal, torna-se inviável o uso do teste pareado, para esse caso, pode-se utilizar o teste pareado não paramétrico - Teste de Wilcoxon.

Figura 6 – Fluxograma do procedimento para execução do teste  $t$  pareado.



Fonte: Próprio autor.

Na prática, podemos utilizar testes estatísticos para testar se as observações da nossa amostra se ajustam apropriadamente a uma determinada distribuição teórica. Vários teste estatísticos são utilizados para testar o ajustamento de distribuição amostrais a determinada função teórica. Kolmogorov-Sminorv é um deles, sendo um dos mais utilizados para testar a normalidade dos dados obtidos (MARÔCO, 2007).

Kolmogorov-Sminorv (K-S) é usado para decidir se a distribuição de variável sob estudo ( $F(X)$ ) numa determinada amostra provém de uma população com uma distribuição específica  $F_0(X)$ . Neste caso é apenas um teste quanto a distribuição da variável é ou não normal com base nos parâmetros  $\mu$  (media) e  $\sigma$  (desvio padrão) quaisquer, pretendendo testar:

$$H_0: X \sim N(\mu, \sigma) \text{ vs. } H_1: X \approx N(\mu, \sigma) \text{ (MARÔCO, 2007).}$$

A distribuição normal foi introduzida inicialmente pelo matemático Abraham de Moivre, tornando a curva de Gauss como uma distribuição normal de referencia. A necessidade de que a distribuição amostral seja do tipo normal é por ela ser um dos requisitos de vários métodos, mais conhecidos como Métodos Paramétricos, como por exemplo o teste  $t$  pareado que é o utilizado no decorrer da pesquisa (MARÔCO, 2007).

Os testes paramétricos têm duas condições que devem ser certificadas simultaneamente antes de serem executados, sendo: (1) as variáveis devem possuir uma distribuição normal, e (2) as variâncias populacionais sejam homogêneas caso estejamos comparando duas (ou mais do que duas) populações (MARÔCO, 2007).

Outra prática de amostragem mais comum é com amostras emparelhadas em que os mesmos indivíduos são analisados em duas ou mais situações experimentais diferentes. O objetivo é controlar ou mesmo eliminar fontes de variabilidade que podem atrapalhar no resultado do experimento (MARÔCO, 2007).

Sendo assim, quando temos uma população em que foram extraídos dois conjuntos de amostras emparelhadas relativamente a uma variável dependente quantitativa, utilizamos o teste  $t$ -Student pareado. Esse teste tem como requisito a distribuição normal nas duas populações das variáveis dependentes (MARÔCO, 2007). Esse teste é o utilizado no projeto para testar a significância dos resultados obtidos em relação ao GAA.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, vamos abordar como ocorreu o levantamento de trabalhos na Seção 3.1. E, iremos fazer uma análise dos trabalhos relacionados na Seção 3.2.

### 3.1 Levantamento de Trabalhos

Para descrever o levantamento de trabalhos, apresentamos na Seção 3.1.1 as bases e a *string* de busca utilizada para buscar os trabalhos, os critérios de inclusão e exclusão na Seção 3.1.2 e os aspectos para análise dos trabalhos na Seção 3.1.3.

#### 3.1.1 Palavras-chaves e Strings de Busca

A pesquisa foi realizada em duas base de buscas que permitem pesquisar trabalhos acadêmicos: Google Acadêmico<sup>1</sup> e Portal de Publicações da CEIE (Comissão Especial de Informática na Educação - SBC)<sup>2</sup>. No Portal de Publicações da CEIE, a pesquisa foi realizada levando em conta os seguintes eventos e periódicos:

- Revista Brasileira de Informática na Educação;
- *Brazilian Symposium on Computers in Education* (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE);
- Anais do Workshop de Informática na Escola;
- Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação;
- Jornada de Atualização em Informática na Educação;
- Anais do Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação;
- *Workshop on Advanced Virtual Environments and Education*.

As palavras-chave que compuseram as buscas são em português, sendo: Grafos, Sistema, Ambiente, Ferramenta, Ensino, Ensino-aprendizado, Aprendizagem e Aprendizado. A string de busca foi gerada a partir da combinação das palavras chave e foram divididas nas duas ferramentas de pesquisa da seguinte forma:

<sup>1</sup> <https://scholar.google.com/>

<sup>2</sup> <https://www.br-ie.org/pub/index.php/index/search>

**Google Acadêmico:** allintitle<sup>3</sup>: grafos (sistema OR ambiente OR ferramenta) (ensino-aprendizado OR aprendizagem OR aprendizado OR ensino)

**Portal da CEIE:** (grafos AND (sistema OR ambiente OR ferramenta) AND (ensino OR ensino-aprendizado OR aprendizagem OR aprendizado))

### 3.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os seguintes critérios de inclusão foram definidos e aplicados na seleção dos trabalhos relevantes: (i) o trabalho deve estar escrito em português; (ii) o trabalho deve ser um SVA em grafos; (iii) a versão completa do trabalho estar disponível na internet;

Como critérios de exclusão, foram removidos os trabalhos: (i) foram publicados antes de 2014; (ii) eram resumos simples ou expandidos; (iii) eram trabalhos com idiomas diferente do português;

A pesquisa retornou 9 trabalhos pelo Google Acadêmico e 5 trabalhos pelo portal da CEIE. Depois de aplicar os critérios de exclusão restaram 4 trabalhos que são analisados a seguir.

### 3.1.3 Aspectos para Análise dos Trabalhos

Para realizar a análise dos trabalhos relacionados, utilizamos cinco aspectos: (A1) o foco em ensino e aprendizagem de demonstrações, (A2) o foco em ensino e aprendizagem de Grafos, a (A3) visualização passo-a-passo dos algoritmos, (A4) a disponibilização do SVA como código-livre e (A5) a validação estatística mais rigorosa do trabalho. Justificamos a importância de cada um destes a seguir.

**Foco em ensino e aprendizagem de demonstrações (A1):** Nos trabalhos levantados, as contribuições estendem-se em vários aspectos educacionais. Entretanto o recorte específico em questão refere-se ao ensino e aprendizagem de demonstrações. Demonstrações são muito importantes, tanto na Matemática quanto na área da Computação. Em Teoria dos Grafos, as demonstrações são utilizadas para provar teoremas, lemas, corolários e alguns problemas práticos da área.

**Foco em ensino e aprendizagem de grafos (A2):** Embora haja trabalhos que abordem a visualização de algoritmos, elas não necessariamente têm aplicação na disciplina de Teoria dos Grafos. A visualização de possíveis soluções é bastante útil em Teoria dos Grafos, principalmente quando contextualizadas em problemas do mundo real. Quando a modelagem em Teoria dos Grafos é passível de ser visualizada, existe uma maior probabilidade do estudante compreender a proposta apresentada.

<sup>3</sup> allintitle: Comando de busca do Google buscando somente no título.

**Visualização passo-a-passo dos algoritmos (A3):** A visualização da execução de algoritmos pode ser realizada de várias formas, como por exemplo, através de um fluxograma. Entretanto o recorte utilizado neste trabalho é de uma visualização passo-a-passo diretamente no código (ou no pseudocódigo). Esta abordagem é bastante promissora no sentido de possibilitar que processos abstratos se tornem concretos.

**Disponibilização do SVA em código-livre (A4):** Há trabalhos relatando abordagens que promovem o ensino e aprendizagem em Grafos através de uso de ferramentas (como as SVAs). Todavia, muitos deles não disponibilizam o código-fonte da ferramenta. Este fato impossibilita de futuros pesquisadores evoluírem a proposta iniciada pelo pesquisador, além de impedir a possibilidade de adaptar os aplicativos (HEXSEL, 2002). Os softwares de código aberto tendem a ser mais seguros porque qualquer pessoa pode consultá-lo e até mesmo melhorá-lo. Não existe um custo financeiro para quem adquire o software livre, favorecendo a aquisição deste através de instituições de ensino, fomentando a produção de conhecimento.

**Validação estatística (A5):** A validação da proposta apresentada em uma pesquisa cumpre uma função muito importante. Entretanto, muitos trabalhos não conseguem ir além da apresentação da ferramenta e de seus usos potenciais. A validação estatística é de suma importância para mostrar se o trabalho atingiu seus objetivos. Desta forma, é importante ter uma referência mínima para saber se o trabalho contribui ou não no processo de ensino e aprendizagem. Vamos avaliar esse aspecto levando em conta três itens: (a) validação em relação ao ganho de aprendizagem utilizando o SVA; (b) validação em relação a usabilidade do SVA; (c) experimento realizado com mais de 25 participantes.

## 3.2 Análise dos Trabalhos Relacionados

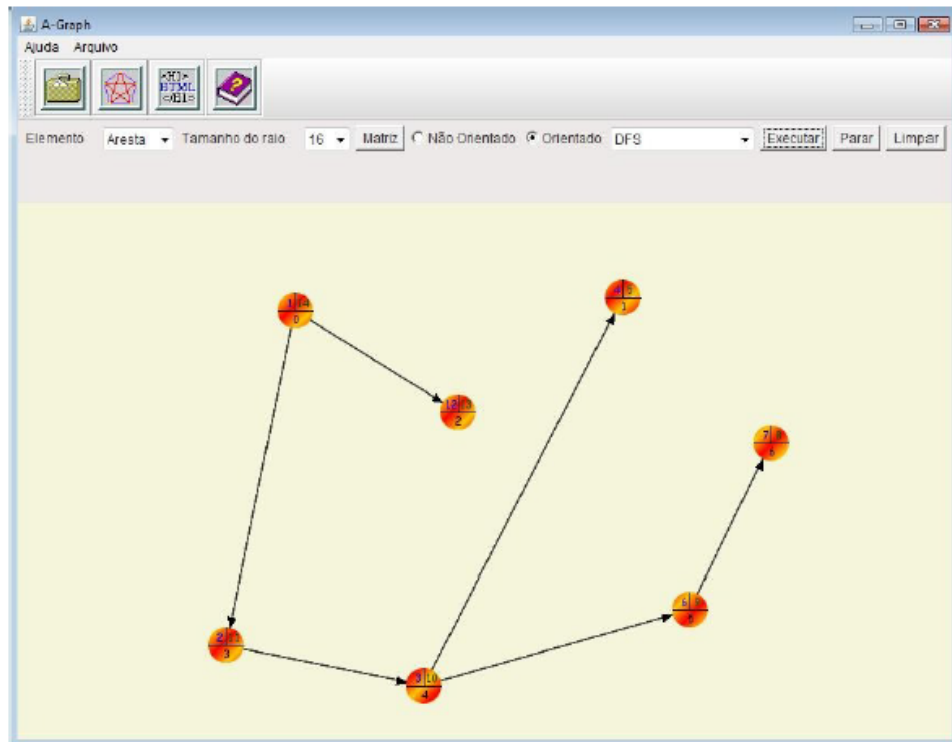
Alguns SVAs hoje são utilizados para auxílio no estudo de TG. Estes são utilizados de diferentes modos para facilitar a compreensão da disciplina. A seguir, serão apresentados alguns desses e suas principais características.

O *A-Graph* é um software livre com código fonte aberto que auxilia no ensino e aprendizado da disciplina de Teoria dos Grafos e seus Algoritmos. *A-Graph* é um ambiente para o desenho de grafos (ver Figura 7) em que permite a visualização da topologia de um grafo previamente desenhado. Uma de suas vantagens é a execução dos algoritmos de Busca em Largura e Busca em Profundidade, permitindo o usuário definir livremente o vértice inicial da busca (LOZADA, 2014).

Analisando o *A-Graph*, é um SVA que não atende aos aspectos A1, A3 e nenhum do A5. Porém atende aos aspectos A2 e A4.

O *EasyGrafos*, apresentado na Figura 8, é um protótipo que tem como objetivo

Figura 7 – Captura de tela do A-Graph - Grafo resultante após a Busca em Profundidade.



Fonte: (LOZADA, 2014).

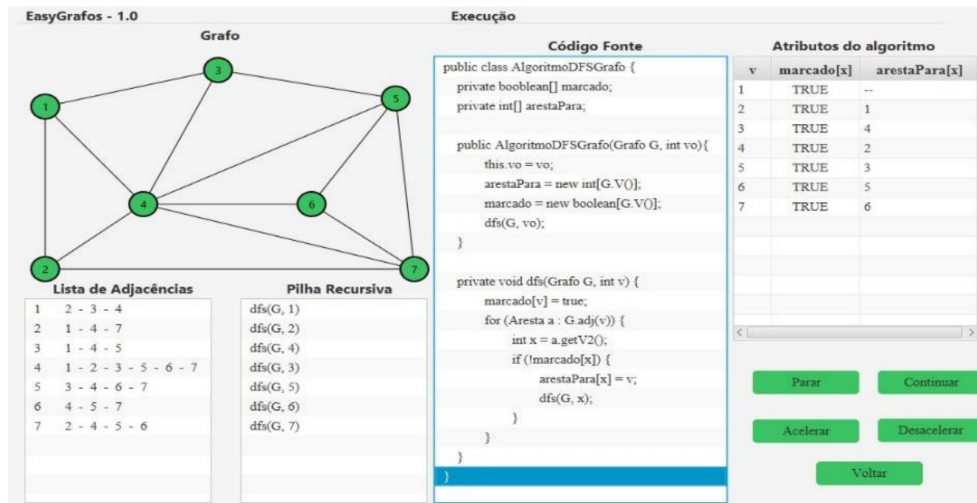
ser uma aplicação *desktop* permitindo ao professor um SVA para auxiliar nos ensinamentos que incluam TG. O SVA apresenta os elementos gráficos junto ao código fonte com intuito de facilitar ao aluno a absorver melhor o conteúdo tornando mais claro (PICOLI; SANTOS; MENDES, 2019).

Analisando o *EasyGrafos*, é um SVA que não atende aos aspectos A1, A4 e nenhum do A5. Porém atende aos aspectos A2 e A3.

*Furb Graphs* é um SVA de apoio ao ensino para a disciplina de TG (ver Figura 9). Utiliza como foco os algoritmos de busca em largura, busca em profundidade e Dijkstra, de forma visual e interativa acompanhando passo-a-passo suas aplicações tentando tornar o processo de aprendizagem menos abstrato (BERNARDES, 2016).

Analisando o *Furb Graphs*, é um SVA que não atende aos aspectos A1, A4 e A5 nos quesitos (a) e (c). Porém atende aos aspectos A2, A3 e A5 no quesito (b).

Por fim, o *GraphViewer* é uma ferramenta com âmbito em demonstrações por indução em grafos, diferente de todas as outras ferramentas apresentadas. Contendo dois teoremas passíveis de serem demonstrados por indução, para cada um dos teoremas existe um algoritmo recursivo associado e é apresentado visualmente a prova por indução com um pseudocódigo e a visualização do grafo passo-a-passo. Existe também uma demonstração por indução do teorema escolhido (CARVALHO, 2017).

Figura 8 – Captura da tela do *EasyGrafos* - modo de execução.

Fonte: (PICOLI; SANTOS; MENDES, 2019).

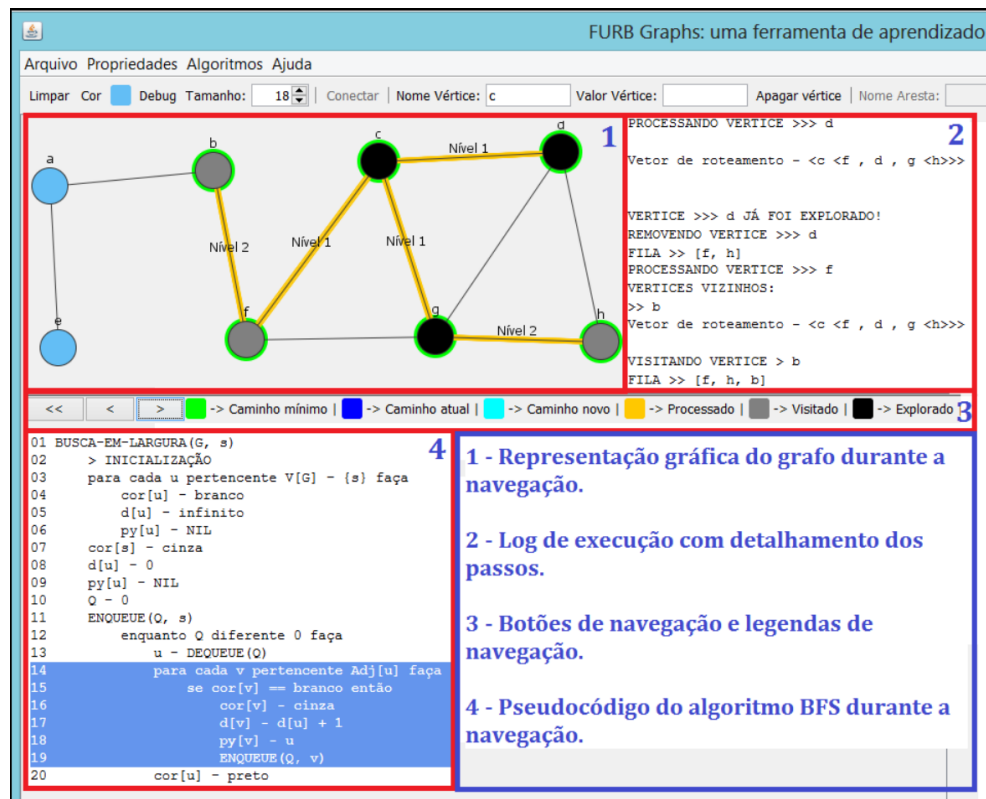
Analisando o *GraphViewer*, é um SVA que não atende ao aspecto A5 no quesito (c). Porém atende aos aspectos A1, A2, A3, A4 e A5 nos quesitos (a) e (b).

Depois de feito este breve levantamento sobre as SVAs e utilizar os aspectos descritos na Seção 3.1.3, nota-se que a grande parte dos sistemas estão voltadas para algoritmos clássicos em grafo ou até mesmo para construção de grafos simples. A Tabela 2 apresenta um quadro comparativo destes critérios indicando que a nossa proposta se enquadra em todos os aspectos simultaneamente.

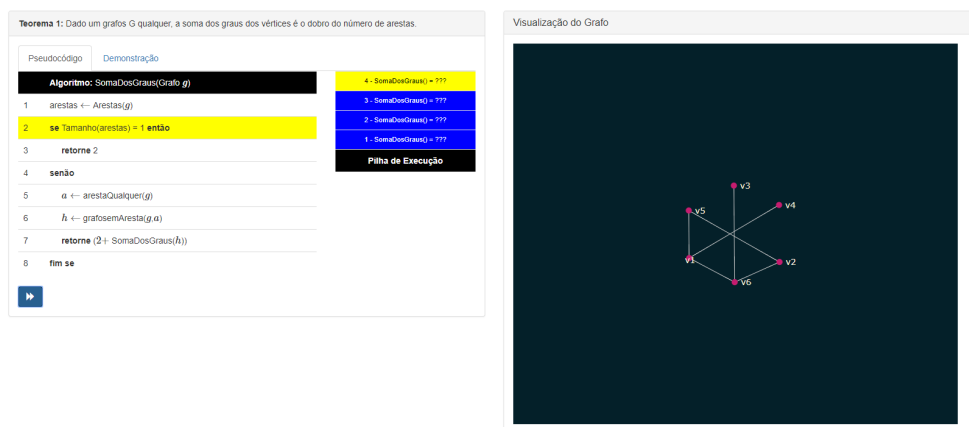
Tabela 2 – Tabela comparativa dos trabalhos relacionados, utilizando os cinco aspectos escolhidos (A1 a A5).

Artigos	Aspectos dos SVAs						
	A1	A2	A3	A4	A5		
					a	b	c
<i>A-Graph</i> (LOZADA, 2014)	-	✓	-	✓	-	-	-
<i>FURB Graphs</i> (BERNARDES, 2016)	-	✓	✓	-	-	✓	-
<i>EasyGrafos</i> (PICOLI; SANTOS; MENDES, 2019)	-	✓	✓	-	-	-	-
<i>GraphViewer</i> (CARVALHO, 2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
<b>Proposta deste Trabalho</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Próprio autor.

Figura 9 – Captura da tela do Furb *Graphs* - ferramenta durante a navegação.

Fonte: (BERNARDES, 2016).

Figura 10 – *GraphViewer*: Captura de tela na simulação do pseudocódigo do Teorema 1.

Fonte: (CARVALHO, 2017).



## 4 SVA GRAPHVIEWER

Nesta seção vamos apresentar sucintamente sobre o funcionamento do SVA *GraphViewer*<sup>1</sup>. Serão apresentadas algumas telas do sistema e uma execução do passo-a-passo da utilização do sistema.

### 4.1 *GraphViewer*

Na Figura 11, temos a tela inicial da ferramenta.

Figura 11 – Captura da tela inicial do SVA *GraphViewer*.



Fonte: Próprio autor.

No lado direito da tela inicial (Figura 12), encontramos a aba principal, onde constam as seguintes informações sobre o trabalho: (i) Sobre o projeto, (ii) Trabalhos publicados, (iii) Idealizadores e também uma opção “Principal” para voltar a tela inicial.

Figura 12 – Captura da tela inicial do SVA *GraphViewer*, com destaque no menu lateral.

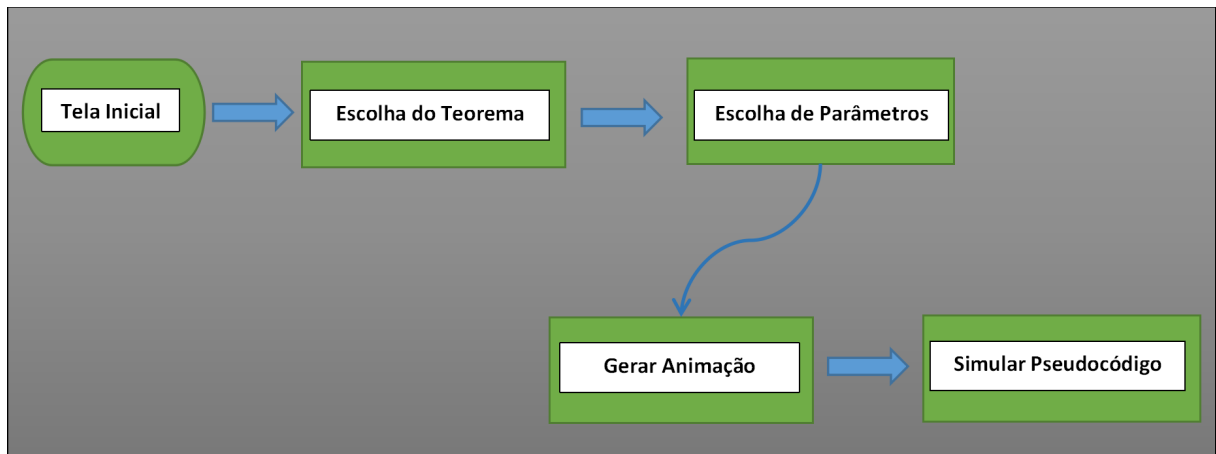


Fonte: Próprio autor.

Vamos ilustrar o uso da aplicação por um usuário conforme o apresentado na Figura 13. Iniciaremos o passo-a-passo a partir da tela inicial. Em seguida, vamos fazer a escolha do teorema. Escolheremos os parâmetros para gerar o grafo e o pseudocódigo, respeitando os requisitos do teorema escolhido. Por fim, vamos gerar a animação e simular o pseudocódigo do teorema escolhido.

<sup>1</sup> <<http://visual-graph.herokuapp.com>>

Figura 13 – Ilustração dos passos que serão executados.



Fonte: Próprio autor.

Ainda na tela inicial (Figura 14), podemos iniciar a aplicação de duas formas, clicando em um dos botões de “Use agora!”. O usuário clicará no botão “Use Agora!”, assim iniciando a aplicação. O clique no botão “Use Agora!” iniciará um processo de três passos até que seja apresentada a demonstração escolhida.

Figura 14 – Captura da tela inicial do SVA *GraphViewer*, com destaques nos botoes “Use agora”.

Fonte: Próprio autor.

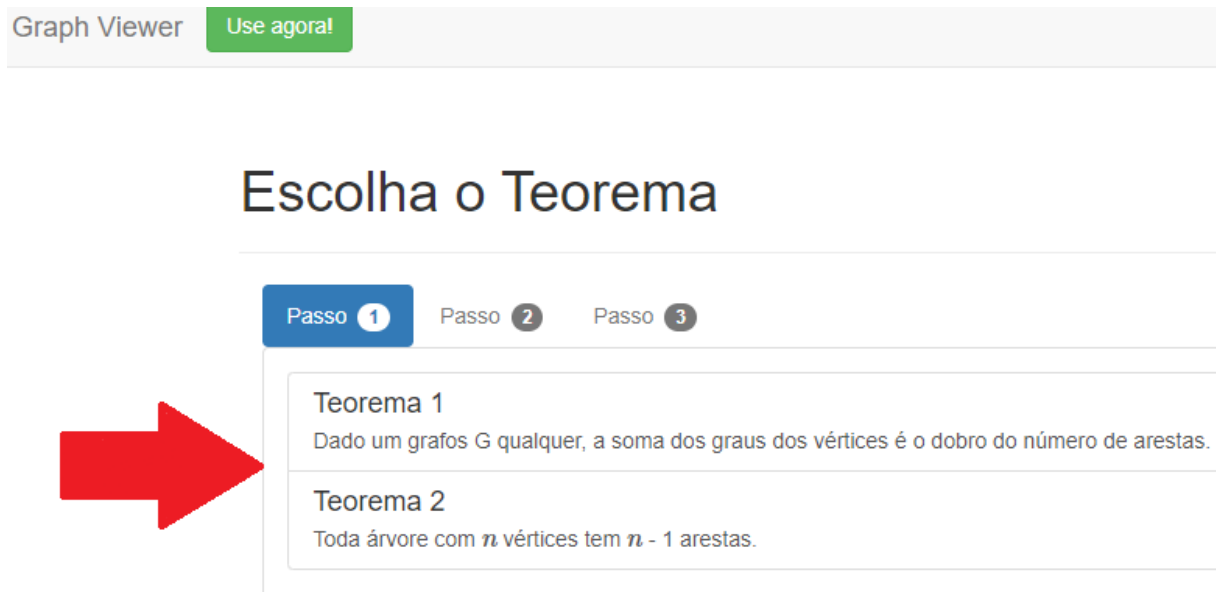
Na Figura 15, no primeiro passo, será onde escolheremos qual teorema visualizar na execução do SVA. Vamos escolher o Teorema 2 para prosseguir a execução da ferramenta.

Agora na Figura 16, no segundo passo, escolheremos o tipo de grafo e o número de vértices que o grafo possuirá. Neste exemplo, foi selecionado um grafo do tipo Árvore com 8 vértices.

Na Figura 17, ainda no segundo passo, confirmaremos os dados escolhidos antes de gerar a animação para que o *GraphViewer* possa gerar o grafo desejado. Clicaremos em “Gerar Animação”, passando assim para o passo três.

Após gerada a animação, como mostra a Figura 18, teremos duas abas na parte superior da aplicação. A primeira aba corresponde ao pseudocódigo do algoritmo recursivo

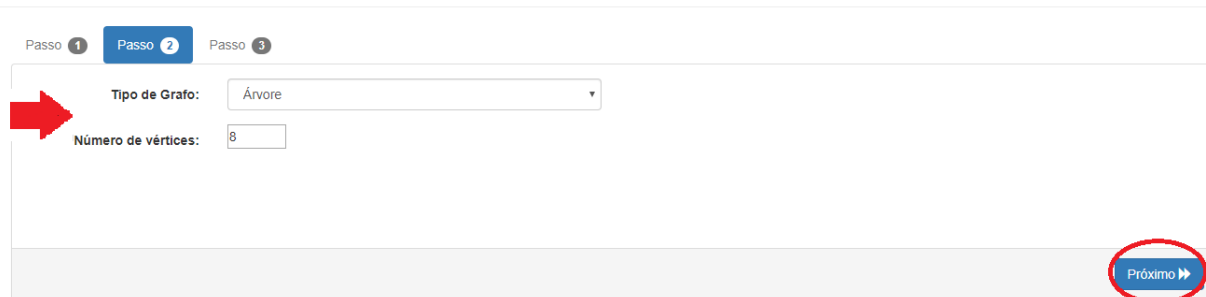
Figura 15 – Captura da tela de opções da escolha dos Teoremas.



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Captura da tela de escolha do estilo de grafo e quantidade de vértices do grafo escolhido.

### Escolha o Grafo



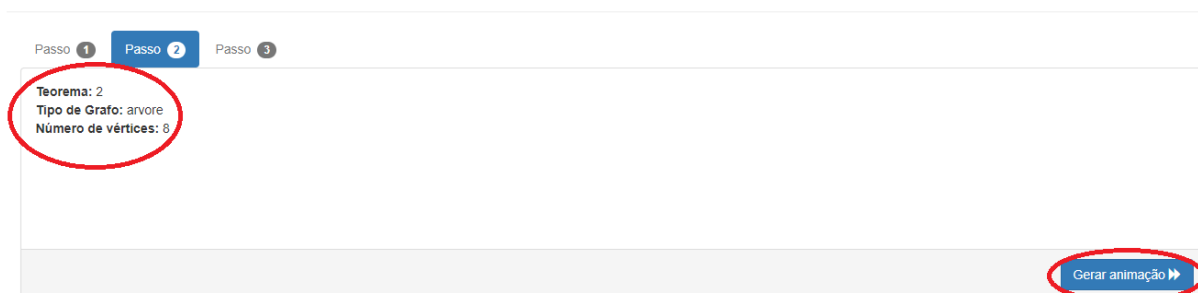
Fonte: Próprio autor.

do teorema escolhido. A segunda aba estará exposta a demonstração por indução do teorema escolhido. E temos a “Visualização do Grafo” e a opção de “Começar Animação”. Clicaremos na aba “Demonstração”, conforme apresentado na Figura 19, para visualizar a demonstração por indução do Teorema 2.

Na Figura 20, agora vamos selecionar a primeira aba que corresponde ao pseudocódigo do algoritmo recursivo do teorema escolhido, que foi o Teorema 2. Nesta etapa, vamos dar início a execução do algoritmo passo-a-passo. Para iniciar a execução teremos que clicar no botão “Começar Animação”. O passo-a-passo da primeira execução do algoritmo será demonstrado nas Figuras 20 a 26. O usuário para passar para o próximo passo do algoritmo precisará somente clicar no botão “Prosseguir” como mostrado nas figuras.

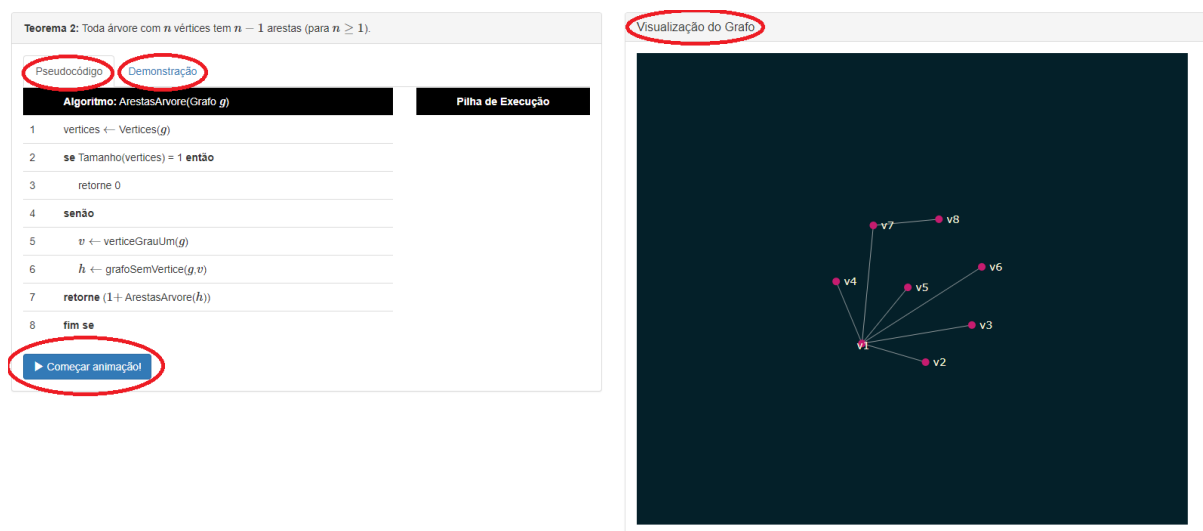
Figura 17 – Captura da tela de confirmação dos dados escolhidos e geração da animação.

## Confirme os dados



Fonte: Próprio autor.

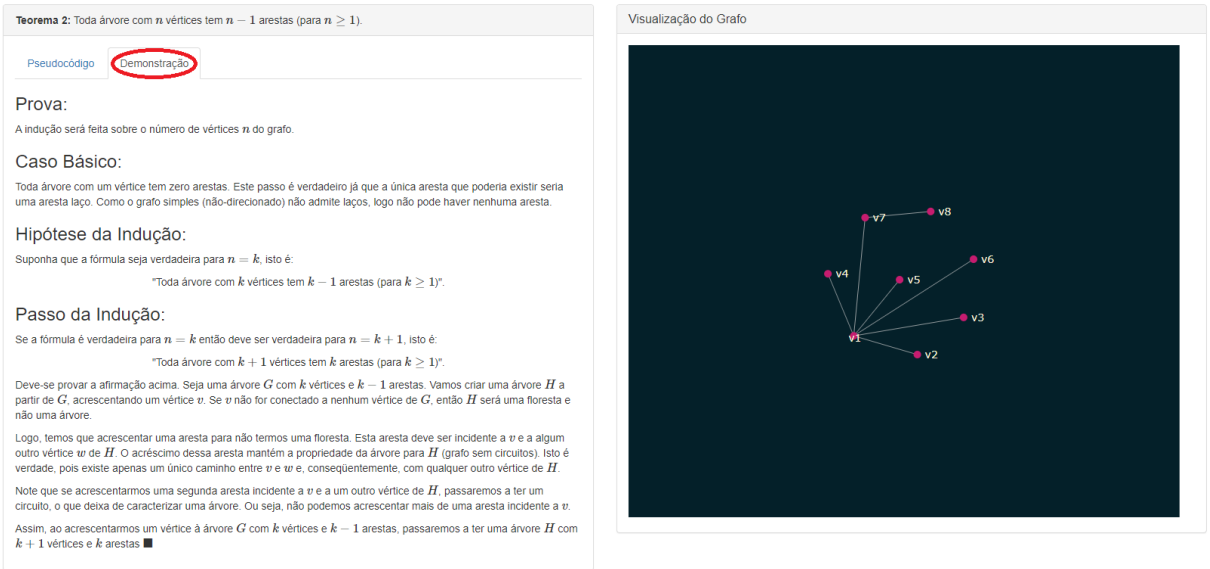
Figura 18 – Captura da tela do pseudocódigo em relação ao teorema escolhido, com destaques para as abas.



Fonte: Próprio autor.

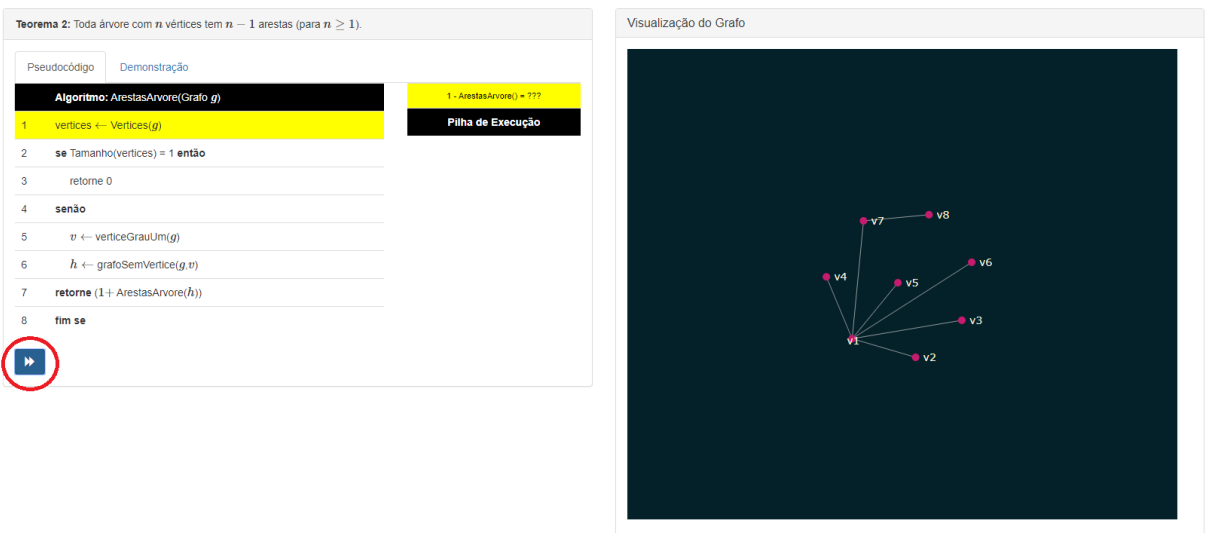
E por fim, na Figura 27, podemos ver como seria o resultado após todas as interações com o SVA em relação ao tipo de grafo e número de vértices escolhidos anteriormente.

Figura 19 – Captura da tela da demonstração por indução em relação ao teorema escolhido, com destaque para a aba de Demonstração.



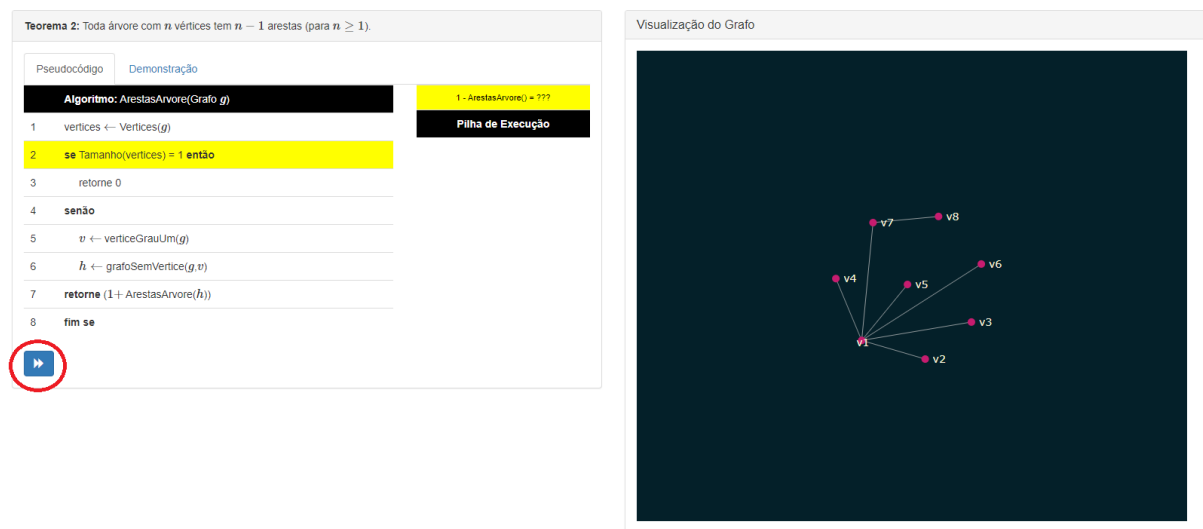
Fonte: Próprio autor.

Figura 20 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2, destaque para a linha 1 do pseudocódigo.



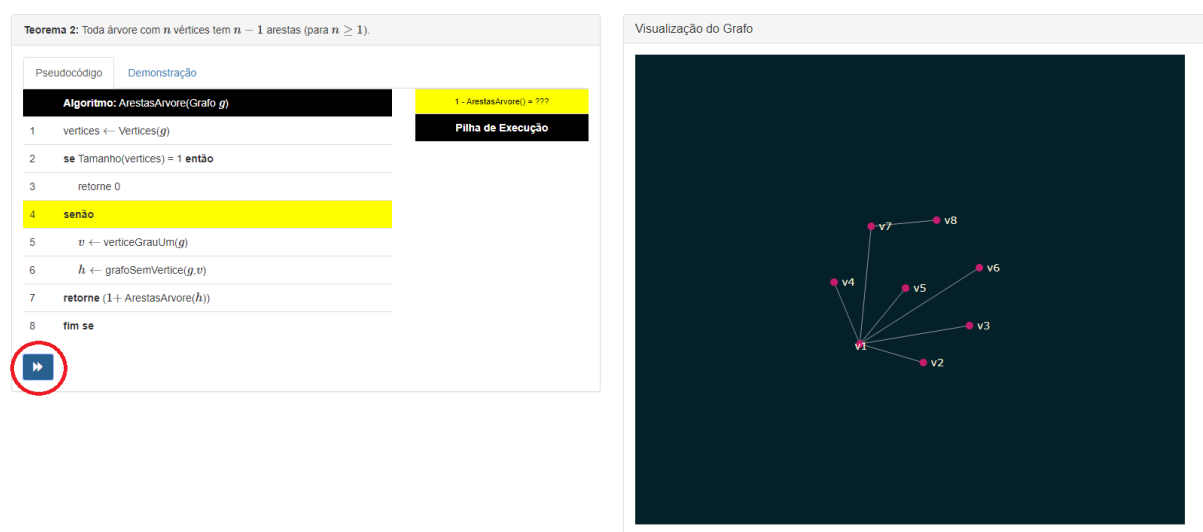
Fonte: Próprio autor.

Figura 21 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



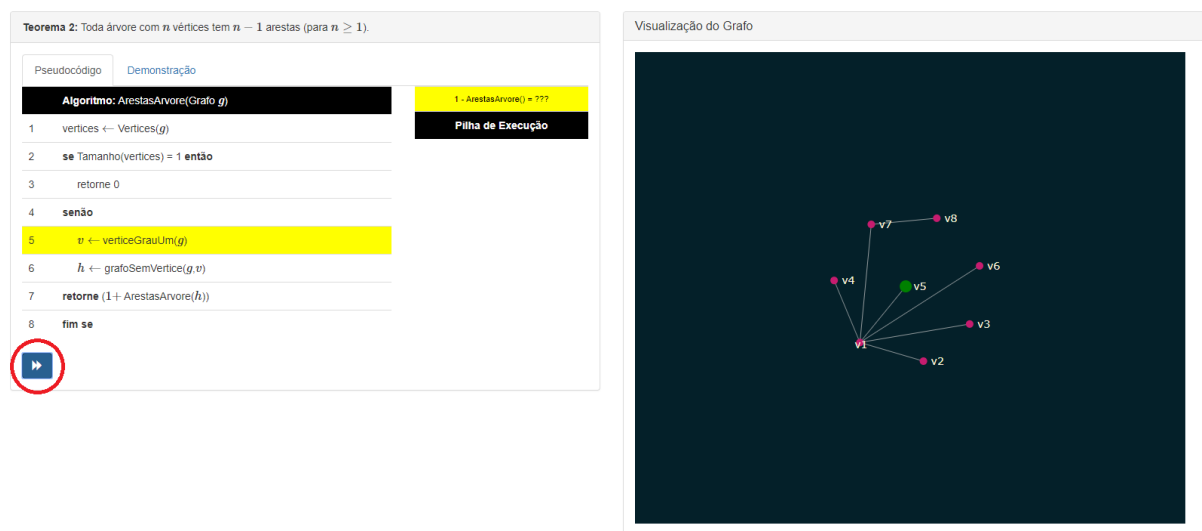
Fonte: Próprio autor.

Figura 22 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



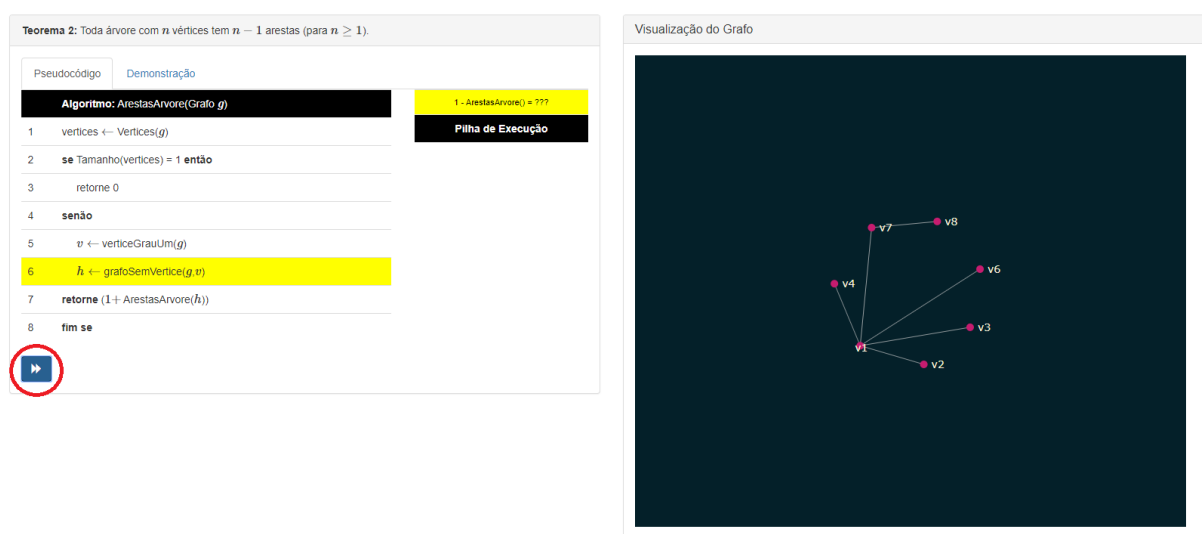
Fonte: Próprio autor.

Figura 23 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



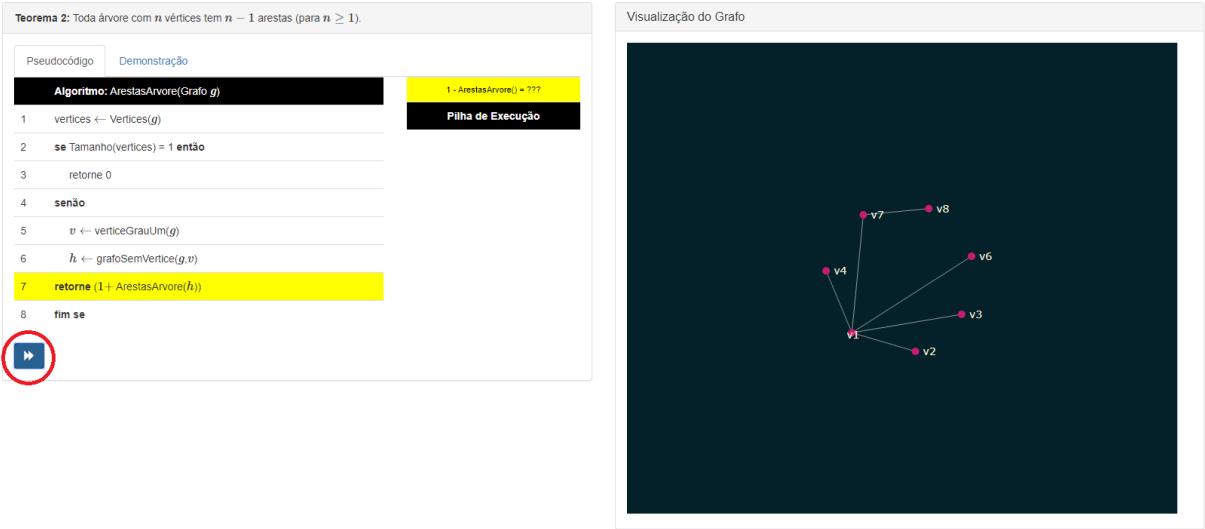
Fonte: Próprio autor.

Figura 24 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



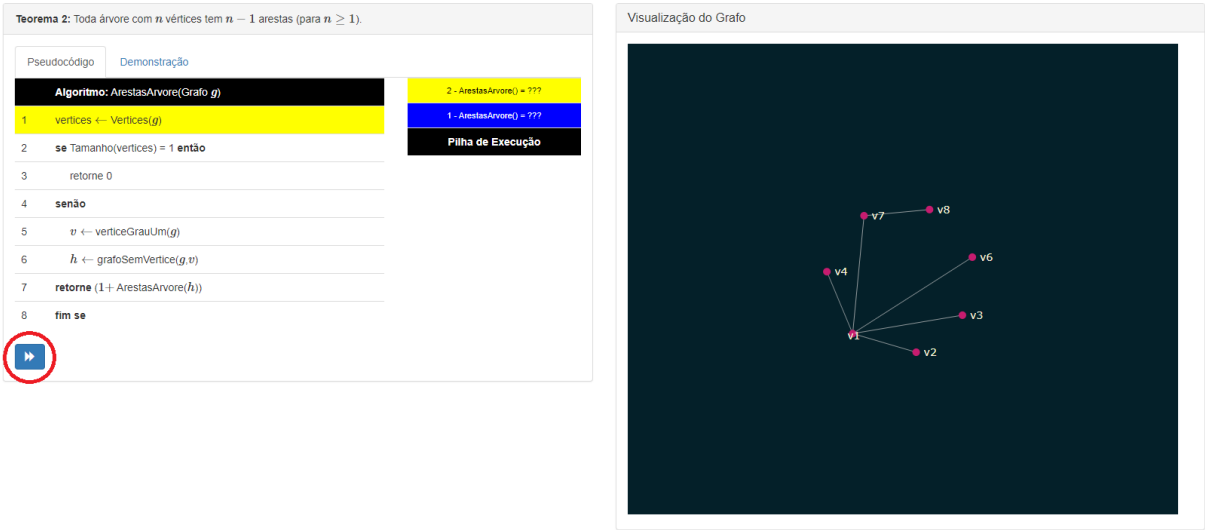
Fonte: Próprio autor.

Figura 25 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



Fonte: Próprio autor.

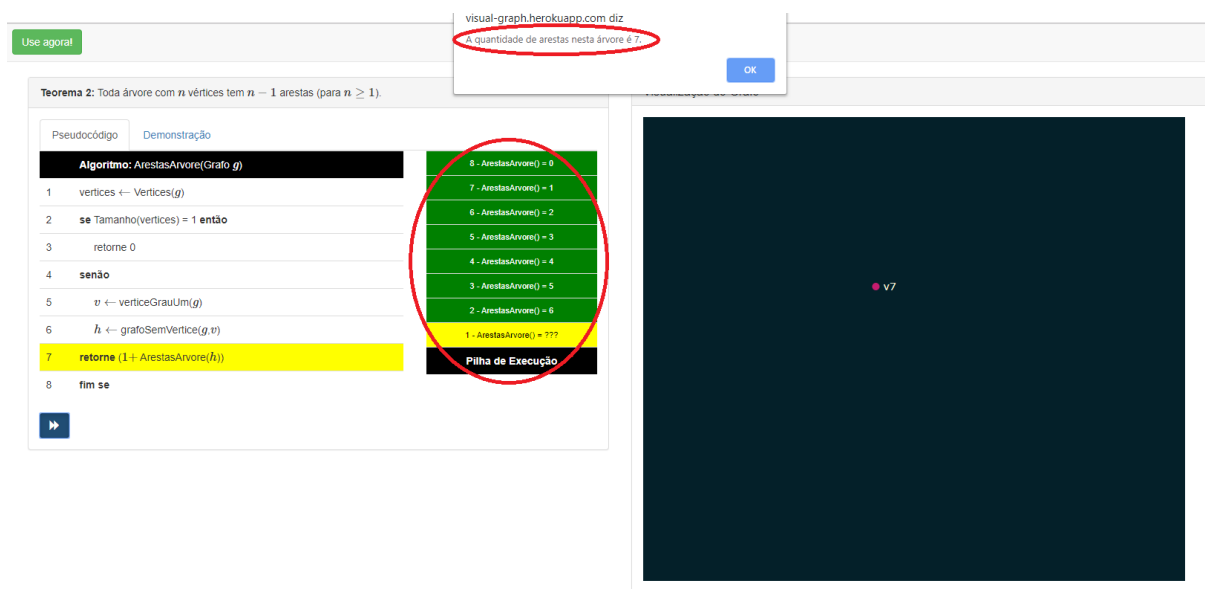
Figura 26 – Captura da tela de execução passo-a-passo do pseudocódigo do Teorema 2.



Fonte: Próprio autor.



Figura 27 – Captura da tela do resultado final após executado o processo por completo.



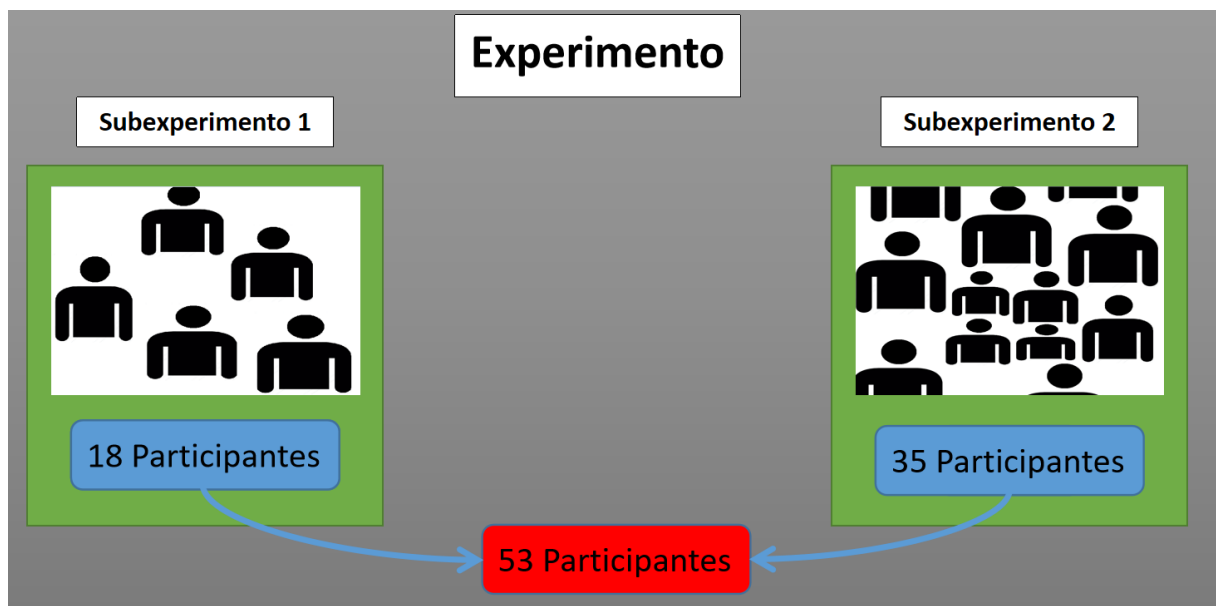
Fonte: Próprio autor.

## 5 METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu na utilização do SVA *GraphViewer* em um ambiente controlado. O experimento foi realizado no Campus Jatobá da Regional Jataí, na Universidade Federal de Goiás, em um laboratório de computação.

O Experimento aconteceu em dois períodos, sendo Subexperimento 1 e Subexperimento 2. O Subexperimento 1 foi realizado na aula de Probabilidade e Estatística no dia 07/11/2018, contando com a participação de 18 alunos voluntários e um professor voluntário do curso de Computação. O Subexperimento 2 foi realizado na aula de TG no dia 14/05/2019, contando com a participação de 35 alunos voluntários e um professor voluntário do curso de Computação. O experimento totalizou 53 alunos voluntários, alcançando o objetivo específico (ii) que era uma amostra de pelo menos cinquenta participantes (ver Figura 28). O professor voluntário foi o mesmo em ambos os experimentos.

Figura 28 – Ilustração do experimento realizado.

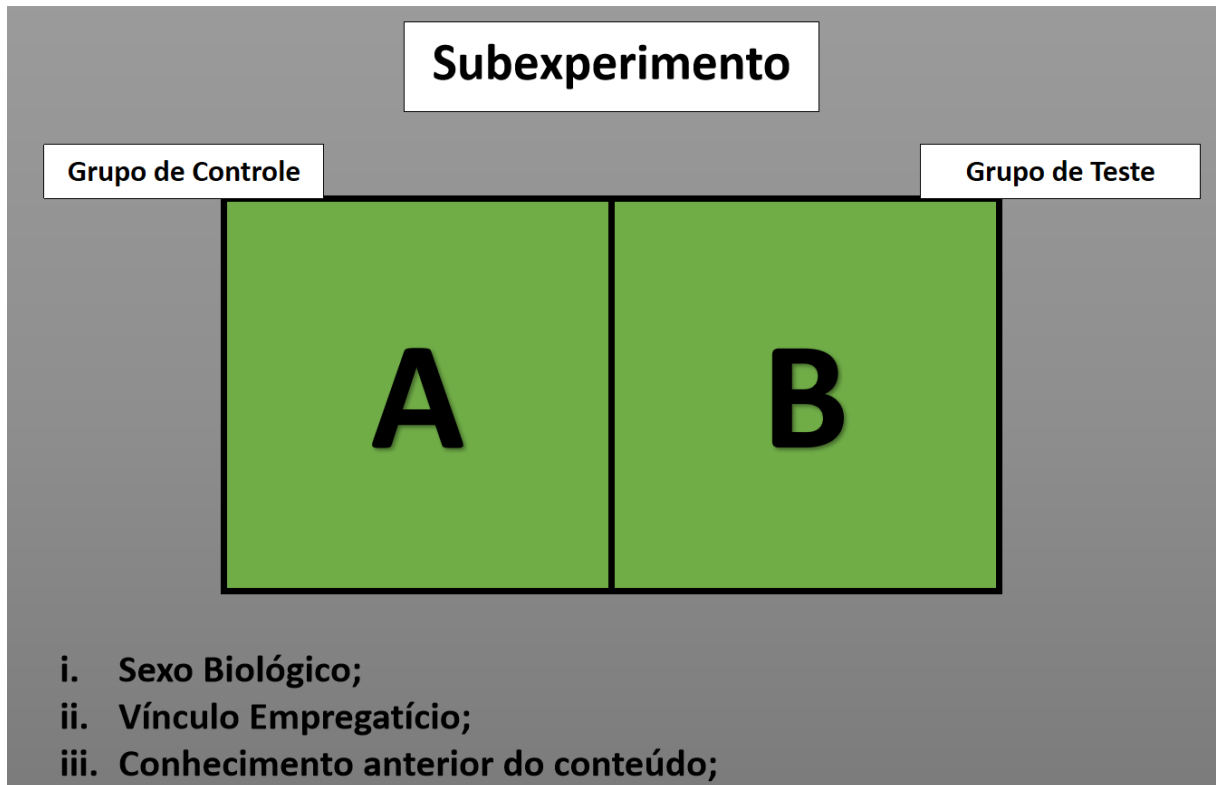


Fonte: Próprio autor.

Ambos subexperimentos foram divididos da seguinte forma. Dividimos os alunos em dois grupos A e B, sendo respectivamente grupo de controle e grupo de teste. Foram adotados alguns critérios para garantir a distribuição uniforme dos grupos de controle e de teste (LAKATOS; MARCONI, 2003). Assim, com intuito de garantir a isonomia no experimento, os dois grupos foram uniformemente distribuídos seguindo alguns critérios. Os critérios foram aplicados nesta ordem: (i) sexo biológico; (ii) vínculo empregatício

(“Está trabalhando ou não?”); (iii) conhecimento anterior do conteúdo (“Cursou ou não a disciplina de Teoria dos Grafos?”), como apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Ilustração da divisão dos subexperimentos.



Fonte: Próprio autor.

Todo o conteúdo ministrado no experimento foi lecionado pelo professor voluntário aos dois grupos simultaneamente. Entretanto, apenas o Grupo B pôde utilizar o *Graph Viewer* durante todo o experimento.

Dois questionários (Questionários 1 e 2) serviram para identificar aspectos sobre a compreensão do estudante a respeito das demonstrações por indução apresentadas para os Teoremas 1 e 2, respectivamente. Cada um destes questionários teve cinco questões objetivas (ver Anexo B).

O Questionário 3 serviu para identificar os aspectos socioacadêmicos dos participantes. Variáveis como sexo biológico, idade e ano de ingresso são exemplos dos dados requisitados (ver Anexo B).

Por fim, o Questionário 4 serviu para identificar aspectos sobre a usabilidade do SVA *Graph Viewer* (ver Anexo B). Questões sobre facilidade de aprendizado da ferramenta, eficiência de uso, frequência de ocorrência e seriedade dos erros são exemplos dos dados requisitados. Este questionário consiste de cinco perguntas objetivas utilizando uma escala do tipo *Likert* (NEMOTO; BEGLAR, 2014), com pontuações de um a cinco pontos,

respectivamente com rótulos: (i) Discordo Totalmente, (ii) Discordo Parcialmente; (iii) Indiferente, (iv) Concordo parcialmente, e (v) Concordo plenamente.

Cada subexperimento pode ser dividido em nove momentos:

**Momento 1** - aplicação do Questionário 3 aos alunos participantes;

**Momento 2** - aplicação do Questionário 1 (pré-teste) para ambos os grupos;

**Momento 3** - exposição, aos dois grupos, de conceitos básicos de grafos e também de demonstração por indução;

**Momento 4** - exposição da demonstração por indução do Teorema 1;

**Momento 5** - aplicação do Questionário 1 (pós-teste) para ambos os grupos;

**Momento 6** - aplicação do Questionário 2 (pré-teste) para ambos os grupos;

**Momento 7** - exposição da demonstração por indução do Teorema 2;

**Momento 8** - aplicação do Questionário 2 (pós-teste) para ambos os grupos;

**Momento 9** - aplicação do Questionário 4 para o Grupo B.

Será apresentado a seguir o paradigma GQM (Seção 5.1) e a sua utilização no trabalho, através de suas especificações (Seção 5.2).

## 5.1 Paradigma GQM

O paradigma *Goal-Question-Metric* (GQM) (SOLINGEN et al., 2002) é utilizado na Engenharia de Software para auxiliar na medição de processos e softwares, sendo uma abordagem orientada a métricas. A vantagem da sua utilização é que ele separa as preocupações organizacionais (objetivos) das específicas do processo (questões). Isto fornece uma base para decidir quais dados deveriam ser coletados e como eles deveriam ser analisados de forma a responder as questões que se pretende resolver (SOMMERVILLE, 2010).

Os conceitos utilizados dentro do paradigma GQM podem ser definidos sucintamente como:

- **[objetivo]** - meta a qual a pesquisa almeja alcançar;
- **[questões]** - refinamentos dos objetivos em que áreas específicas de incertezas relacionadas são identificadas;
- **[métricas]** - medições que precisam ser feitas para ajudar a responder as questões e confirmar, quantitativamente, se a pesquisa alcançou ou não o objetivo desejado.

Embora o GQM seja largamente utilizado na Engenharia de Software, este paradigma vem sendo utilizado e adaptado em pesquisas na área de educação (GLADCHEFF; SANCHES; SILVA, 2001; MACHADO, 2016; CARVALHO, 2017).

## 5.2 Especificações do GQM

As especificações concretas para os três conceitos principais do GQM foram estabelecidas. O objetivo do projeto consiste em avaliar a utilidade e qualidade do *GraphViewer*, com ênfase no ensino e aprendizagem de demonstração por indução.

Duas questões foram elencadas como refinamentos do objetivo proposto. A primeira é (i) “o *GraphViewer* melhorou o aprendizado do alunos em relação ao não uso dele?”; e a segunda é (ii) “o *GraphViewer* é um software fácil de ser utilizado?”.

Por fim, métricas são construídas para as duas questões elencadas. Para as especificações das métricas, foram criados quatro questionários(ver Anexo B). Estes questionários foram submetidos aos participantes do experimento. As respostas concedidas aos questionários serviram de entrada para o cálculo das métricas.

A partir das respostas obtidas dos questionários, duas métricas foram propostas. A métrica M1 é um indicador do impacto na aprendizagem dos estudantes pelo o uso do *GraphViewer*. A M1 é dada pelos cálculos do ganho de aprendizagem absoluto (Seção 2.7.1.1) e do ganho de aprendizagem normalizado (Seção 2.7.1.2). A seguinte interpretação de M1 foi adotada: se os ganhos de aprendizagem absoluto e normalizado forem maiores no grupo de teste em relação ao grupo de controle, então o *GraphViewer* contribuiu positivamente no aprendizado dos participantes. Caso contrário, a contribuição da ferramenta para a aprendizagem pode estar comprometida.

A métrica M2 é um indicador para a usabilidade do *GraphViewer*. M2 é definida a partir das respostas coletadas através do Questionário 4, que está associado aos aspectos de usabilidade(Seção 2.7.2). M2 é obtida pela média da pontuação de todas as respostas de cada participante. A seguinte interpretação de M2 foi adotada: se  $M2 > 4,0$ , que equivale mais de 75,0% (M2 sendo entre 1,0 - 5,0) de aceitação da ferramenta, caso for uma afirmação verdadeira então o SVA *GraphViewer* é fácil de usar. Caso contrário, a ferramenta tem a sua usabilidade comprometida.

Os resultados do Questionário 3 foram utilizados primordialmente para a análise descritiva dos dados obtidos após o experimento.

## 6 RESULTADOS

Este capítulo tem como propósito apresentar os resultados obtidos no decorrer das atividades do projeto e fazer uma análise dos dados. Conforme apresentado no Capítulo 5, o experimento (Seção 6.3) foi realizado em duas etapas: Subexperimento 1 (Seção 6.1) e Subexperimento 2 (Seção 6.2).

### 6.1 Resultados Subexperimento 1

Nesta seção, serão apresentados os resultados do primeiro subexperimento realizado, Subexperimento 1. Sendo as descrições socioacadêmicas (Seção 6.1.1) e uma análise do dados obtidos (Seção 6.1.2).

#### 6.1.1 Descrição Socioacadêmica

No **Momento 1**, foi aplicado o Questionário 3 para os participantes responderem. Desta forma, foi mais fácil realizar a divisão dos grupos de controle e grupo de teste de acordo com os critérios estabelecido na metodologia que foram: (i) sexo biológico; (ii) vínculo empregatício (“Está trabalhando ou não?”); (iii) conhecimento anterior do conteúdo (“Cursou ou não a disciplina de Grafos?”). Assim também foi atendido o objetivo específico (i) que era o estabelecimento de critérios para garantir a uniformidade dos grupos de controle e de teste do experimento.

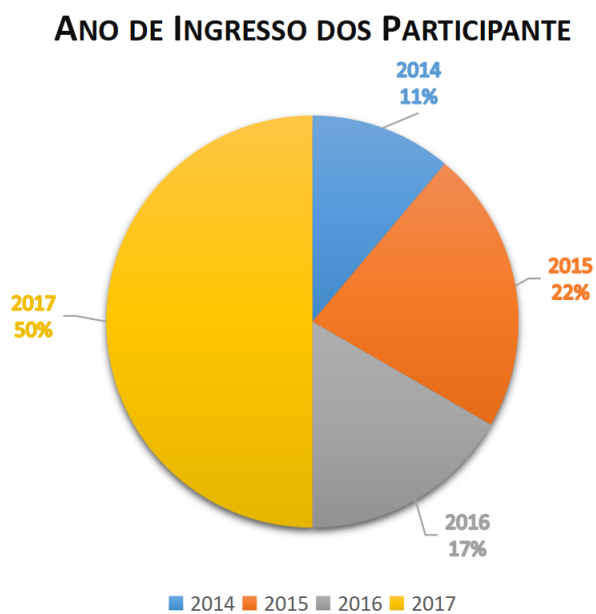
O gráfico na Figura 30 mostra de qual turma são os alunos que participaram da pesquisa. É possível ver que na pesquisa houve participantes de várias turmas, com uma quantidade maior da turma de 2017. Isto aconteceu provavelmente devido ao fato dessa turma ser a regular da disciplina de Probabilidade e Estatística (a qual foi utilizada para a realização desse primeiro experimento).

A Figura 31 apresenta graficamente como o participante se considera quanto a sua cor ou raça. Percebe-se quantidades idênticas de alunos que se consideram pardos e brancos. Percebe-se também que os pardos e brancos correspondem à maior parte dos participantes.

Em relação à idade dos participantes, podemos ver no gráfico da Figura 32 que a quantidade de participantes que nasceram entre 1998-1999 é igual à quantidade dos que nasceram em 1996-1997, sendo a maioria. Quanto aos períodos de 1992-1993 e 1994-1995, estes contemplam a mesma quantidade de pessoas, porém são a minoria dos participantes.

Já em relação ao sexo biológico dos participantes, é ilustrado no gráfico da Figura

Figura 30 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Subexperimento 1.

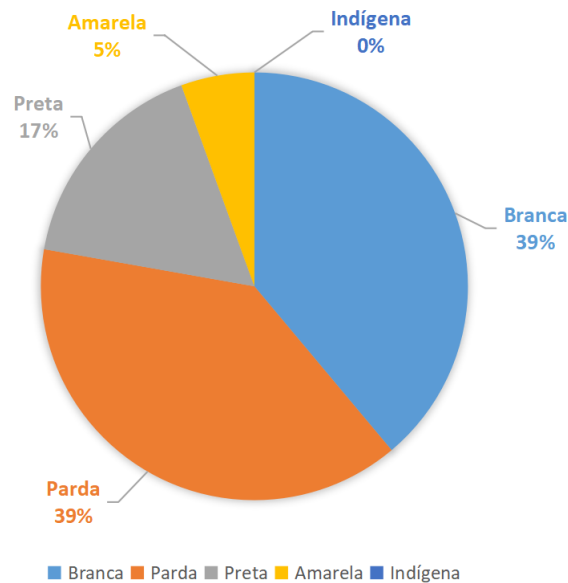


Fonte: Próprio autor.

33. É possível perceber a pequena quantidade de mulheres e uma quantidade muito superior de participantes que são do sexo masculino.

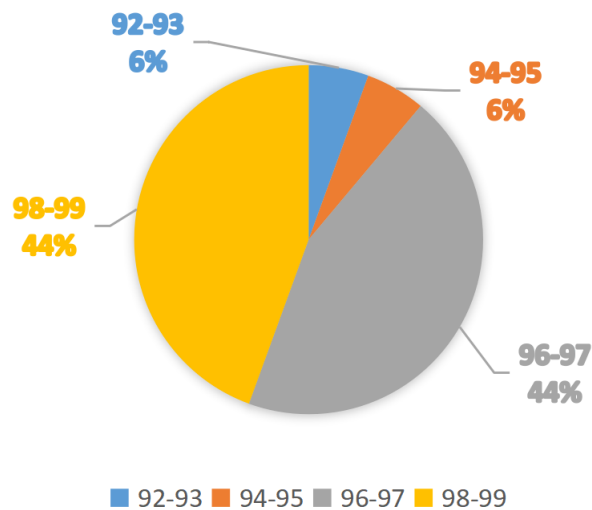
Na Figura 34, podemos observar que apenas 11% da amostra trabalha, o que é a minoria e provavelmente não interfira nos resultados.

Figura 31 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Subexperimento 1.

**COMO SE CONSIDERA O PARTICIPANTE QUANTO A SUA COR OU RAÇA**

Fonte: Próprio autor.

Figura 32 – Representação gráfica da idade dos participantes do Subexperimento 1.

**IDADE DOS PARTICIPANTES**

Fonte: Próprio autor.

**6.1.2 Análise dos Resultados do Subexperimento 1**

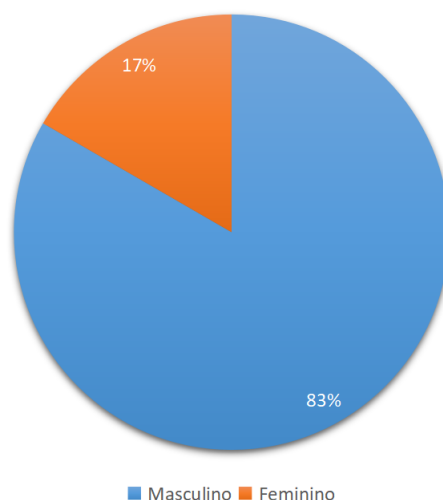
Analisando os dados do subexperimento, temos que em relação ao Teorema 1, podemos ver na Figura 35 o ganho absoluto para cada questão. Neste gráfico, é possível identificar um ganho absoluto positivo dos participantes do grupo de teste em relação aos do grupo de controle, o que é um retorno positivo para o uso do SVA *GraphViewer*.

Já para o Teorema 2, a Figura 36 mostra que o ganho absoluto tanto para o grupo



Figura 33 – Representação gráfica do sexo biológico dos participantes do Subexperimento 1.

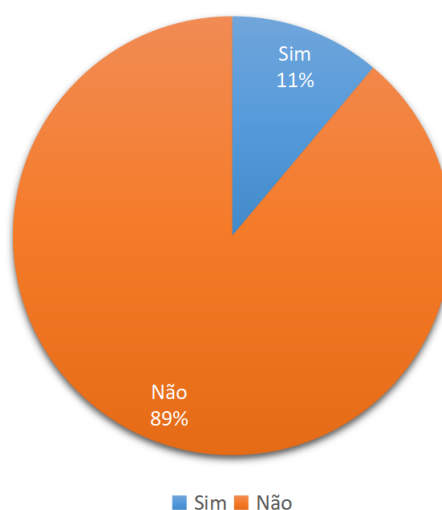
#### SEXO BIOLÓGICO DO PARTICIPANTE



Fonte: Próprio autor.

Figura 34 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora o expediente de estudos do Subexperimento 1.

#### O PARTICIPANTE TRABALHA?

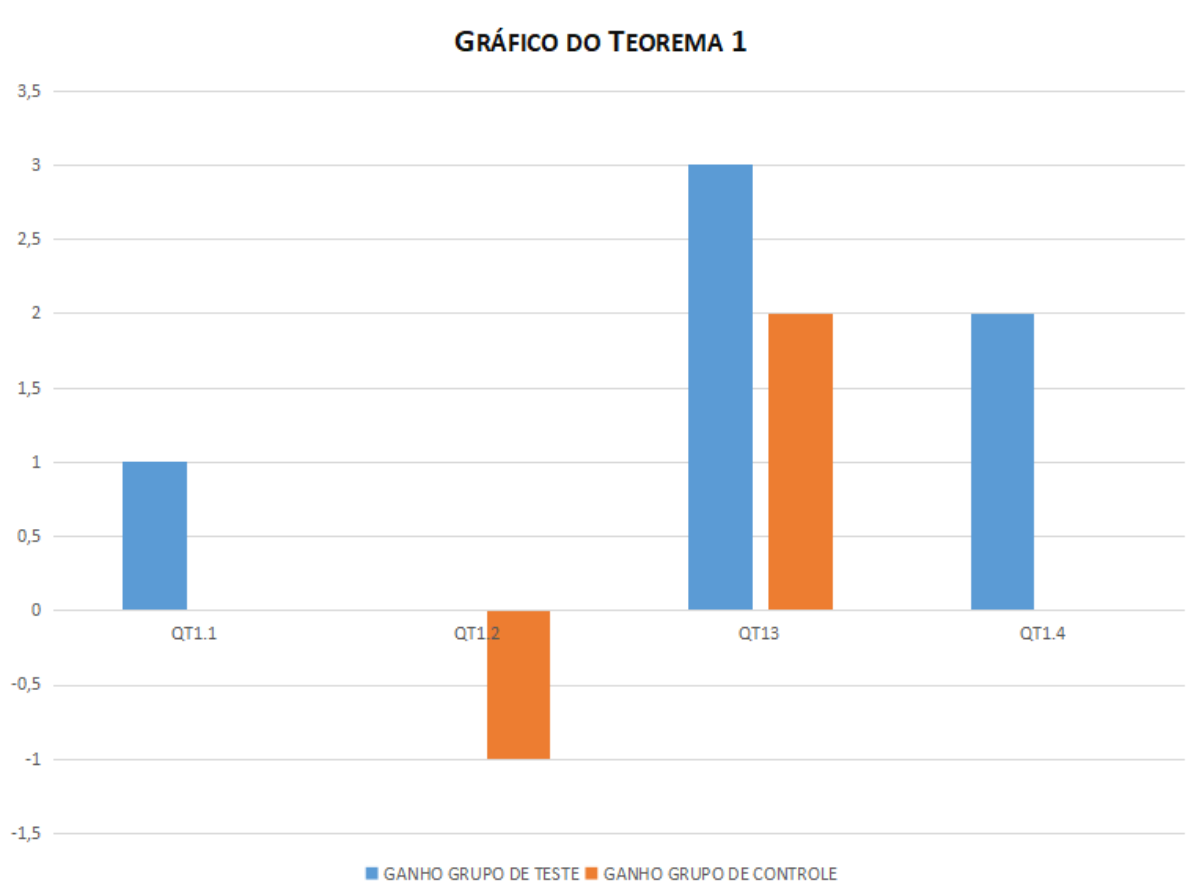


Fonte: Próprio autor.

de controle quanto para o grupo de teste ficou mais equilibrado. Considerando o ganho absoluto com o Teorema 2, é indiferente o uso do *GraphViewer* no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Teoria de Grafos.

Porém, na Tabela 3, são apresentados os ganhos de aprendizagem alcançados pelos estudantes durante o Subexperimento 1 inteiro. Percebe-se que a utilização do *GraphViewer*

Figura 35 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 aplicado no Subexperimento 1.



Fonte: Próprio autor.

(grupo de teste) garantiu ganhos normalizados superiores em todos os cenários. Em relação ao experimento como um todo, o ganho de aprendizagem normalizado foi quase o dobro (25,11%) do obtido pelo grupo de controle (13,92%).

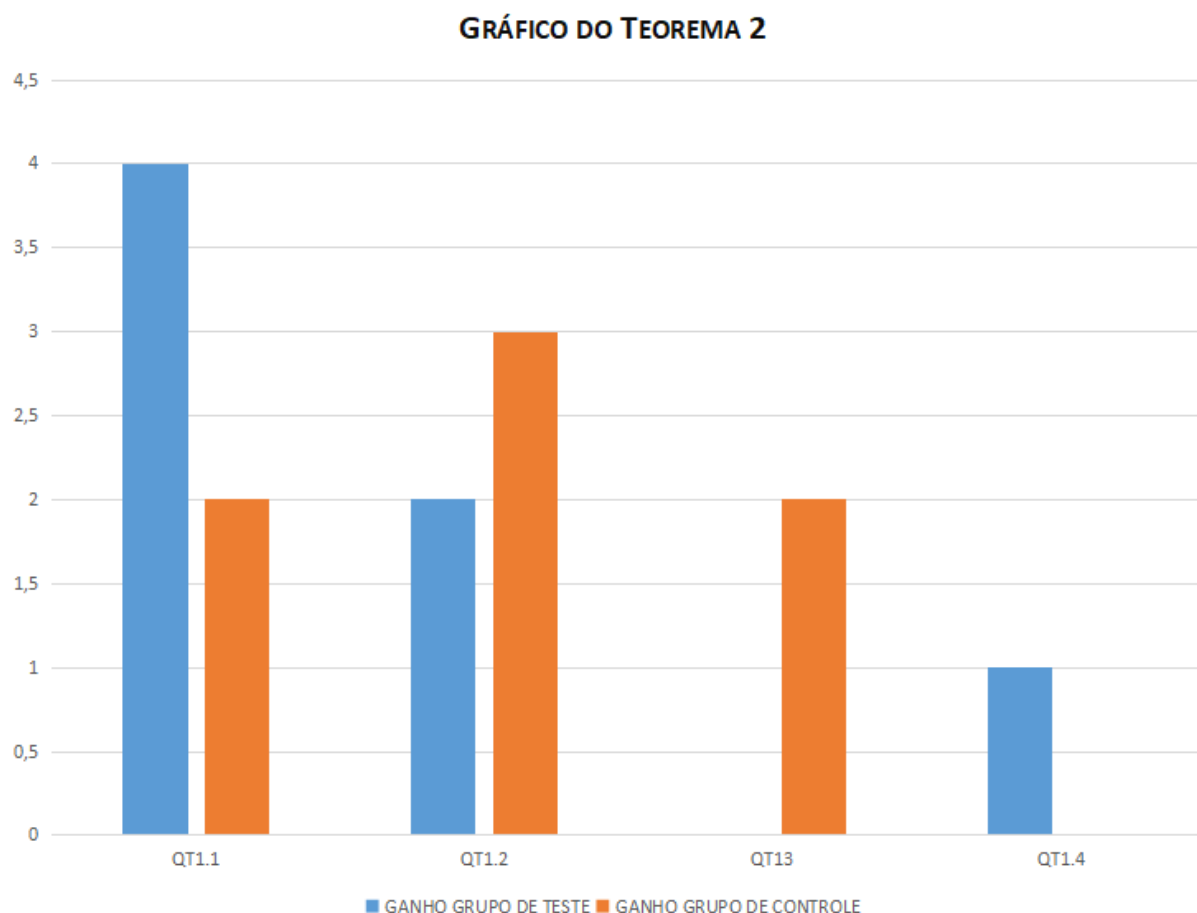
Tabela 3 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Subexperimento 1.

	Grupo	Ganho Absoluto	Ganho Normalizado
Teorema 1	Controle	2,78 %	3,70%
	Teste	16,67 %	22,22%
Teorema 2	Controle	19,44 %	24,14%
	Teste	19,44 %	28,00%
Experimento Inteiro	Controle	11,11%	13,92%
	Teste	18,06%	25,11%

Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados, é possível calcular a métrica M1. Em relação ao grupo de teste e controle, o GAA foi 6,95% maior no grupo de teste e o GAN também foi maior no

Figura 36 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 aplicado no Subexperimento 1.



Fonte: Próprio autor.

grupo de teste sendo 11,19%. Como os ganhos de aprendizagem absoluto e normalizado forem maiores no grupo de teste em relação ao grupo de controle, podemos afirmar que no Subexperimento 1 foi alcançado o valor da métrica antes estabelecida.

Foram realizados testes estatísticos para descobrir a significância desses resultados (Seção 2.8). Existem ferramentas online para este fim. Aplicamos o teste *Kolmogorov - Smirnov*<sup>1</sup> para checar se nossos conjuntos de notas seguiam uma distribuição normal com o objetivo de realizar um teste *t* pareado.

Em relação ao Subexperimento 1, a Tabela 4 apresenta os resultados dos testes de normalidade. Percebemos que o Teorema 2, e todos os resultados do grupo de teste seguem uma distribuição normal o que possibilita o uso do teste *t* pareado nesses casos. Não podemos realizar o teste *t* pareado para o grupo de controle do Teorema 1 e nem para o grupo de controle em relação ao Subexperimento 1 Inteiro porque temos a necessidade dos dois conjuntos seguirem uma distribuição normal (ver Seção 2.8).

<sup>1</sup> Disponível em <<https://www.socscistatistics.com/tests/kolmogorov/>>.

Tabela 4 – Teste de Normalidade do Subexperimento 1

Teste de Normalidade - Subexperimento 1				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	✓	×	✓	✓
Teorema 2	✓	✓	✓	✓
Subexperimento 1 Inteiro	✓	×	✓	✓

(✓) Segue uma distribuição normal

(×) Não segue uma distribuição normal

Fonte: Próprio autor.

Após checarmos nossos conjuntos de dados, em relação à normalização (ver Tabela 4) descobrimos em quais situações podemos realizar o Teste  $t$  pareado. Utilizamos o Teste  $t$  pareado<sup>2</sup>, com um nível de significância de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), apenas onde ambos os conjuntos seguem uma distribuição normal.

Na Tabela 5, é apresentado o resultado desses testes. Na única situação que poderíamos comparar o uso do SVA *Graph Viewer* ao não uso era no Teorema 2, mas quando aplicamos o teste  $t$  pareado nos conjuntos, o grupo de teste do Teorema 2 não teve resultado significativo, apenas o grupo de controle. Logo não é possível a comparação. Sendo assim, os únicos grupos que podemos afirmar estatisticamente que os resultados são significativos são o grupo de teste do Teorema 1, grupo de controle do Teorema 2 e grupo de teste do Subexperimento 1 Inteiro.

Tabela 5 – Teste t Dependente - Subexperimento 1 com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ )

Teste t Dependente - Subexperimento 1		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	-	✓(16,67%)
Teorema 2	✓(19,44%)	×
Subexperimento 1 Inteiro	-	✓(18,06%)

(-) Teste não pode ser aplicado

(✓) Diferença é significativa

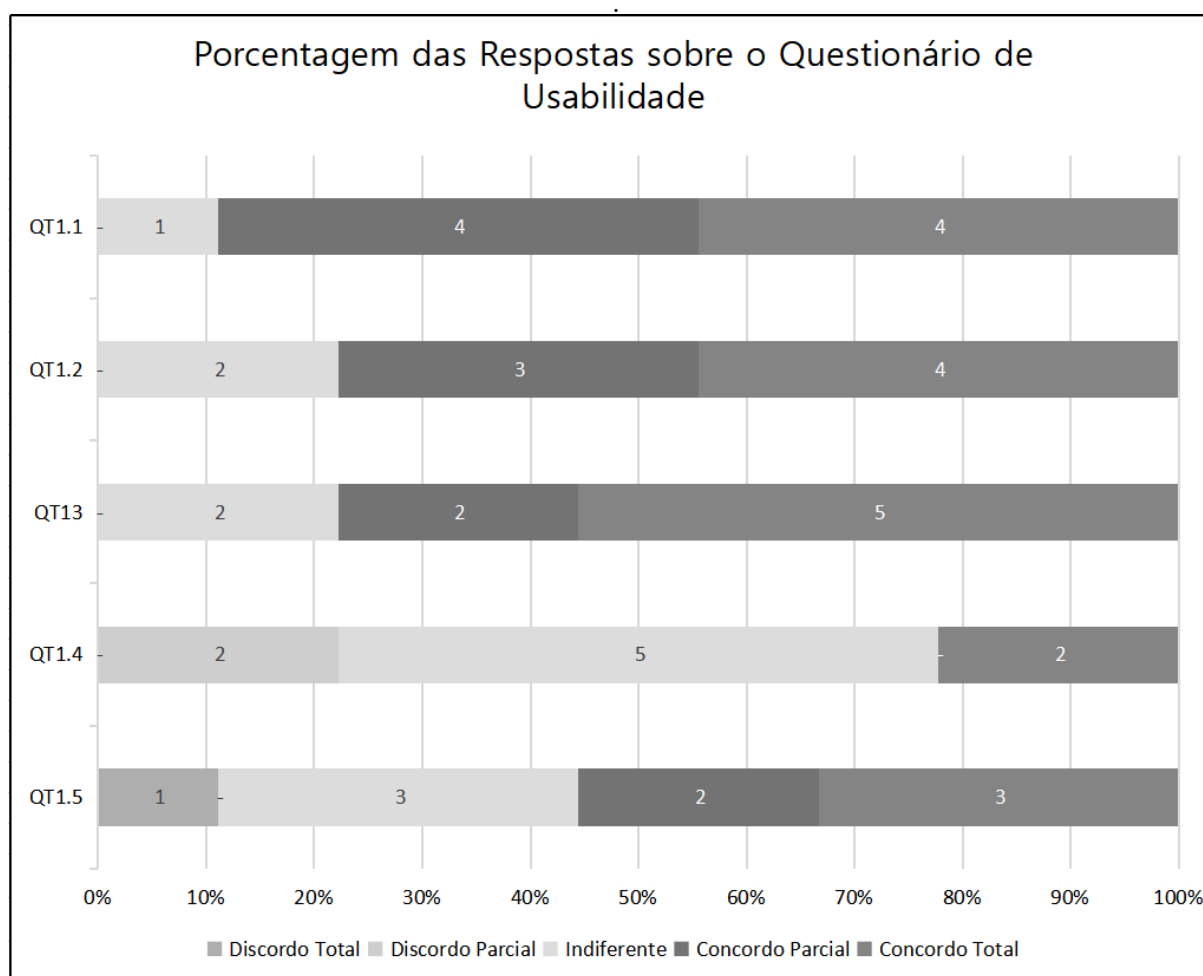
(×) Diferença não é significativa

Fonte: Próprio autor.

E por fim, no Momento 9, o Questionário 4 foi respondido pelos participantes do experimento. Um gráfico dos resultados deste questionário é apresentado na Figura 37. É possível verificar que a maioria dos alunos de ambos os grupos avaliaram positivamente a usabilidade do SVA. O cálculo da métrica M2 foi 3,95, sendo 73,8% de aprovação, alcançando um valor próximo da métrica antes estabelecida (que era 4,0, 75% de aprovação).

<sup>2</sup> Disponível em <<https://www.socscistatistics.com/tests/ttestdependent/default2.aspx>>

Figura 37 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do *GraphViewer* obtidos com os 9 participantes do grupo de teste do Subexperimento 1



Fonte: Próprio autor.

### 6.1.3 Ameaças à Validade do Subexperimento 1

Uma ameaça à validade do experimento foi identificada no que diz respeito a momentos que não foi possível utilizar o teste *t* pareado, como por exemplo no Teorema 1 (grupo de controle) e no Subexperimento 1 Inteiro (também no grupo de controle). Como trabalhos futuros, é possível realizar um teste não paramétrico para checar como seria a significância e talvez ser possível a comparação dos resultados, podendo ser positivo ou não em relação ao ganho de aprendizagem utilizando o SVA *GraphViewer*.

## 6.2 Resultados do Subexperimento 2

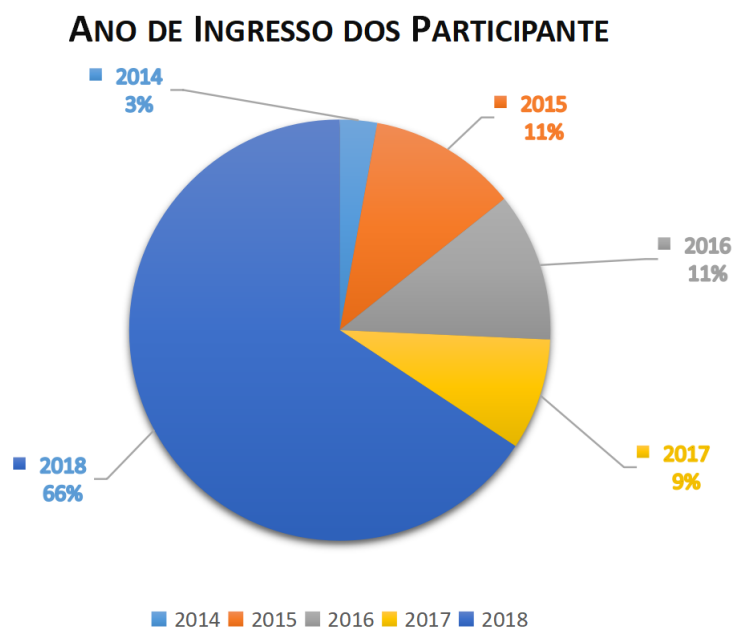
Nessa seção, serão apresentados os resultados do segundo subexperimento realizado, Subexperimento 2. Sendo as descrições socioacadêmicas (Seção 6.2.1) e uma análise do dados obtidos (Seção 6.2.2).

### 6.2.1 Descrição Socioacadêmica do Subexperimento 2

O Subexperimento 2 foi realizado da mesma forma que o Subexperimento 1. Entretanto a quantidade de pessoas foi de 35 alunos. No **Momento 1**, foi aplicado o Questionário 3 para os participantes responderem. Desta forma, foi mais fácil realizar a divisão dos grupos de controle e grupo de teste de acordo com os critérios estabelecido na metodologia que foram: (i) sexo biológico; (ii) vínculo empregatício (“Está trabalhando ou não?”); (iii) conhecimento anterior do conteúdo (“Cursou ou não a disciplina de Grafos?”).

O gráfico na Figura 38 mostra de qual turma são os alunos que participaram da pesquisa. Assim como no Subexperimento 1 houve participantes de diferentes turmas. Porém, desta vez houve uma quantidade maior de participantes da turma de 2018. Isto aconteceu provavelmente devido ao fato desta turma cursar no fluxo regular da disciplina de TG, a qual foi utilizada para a realização desse Subexperimento 2.

Figura 38 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Subexperimento 2.



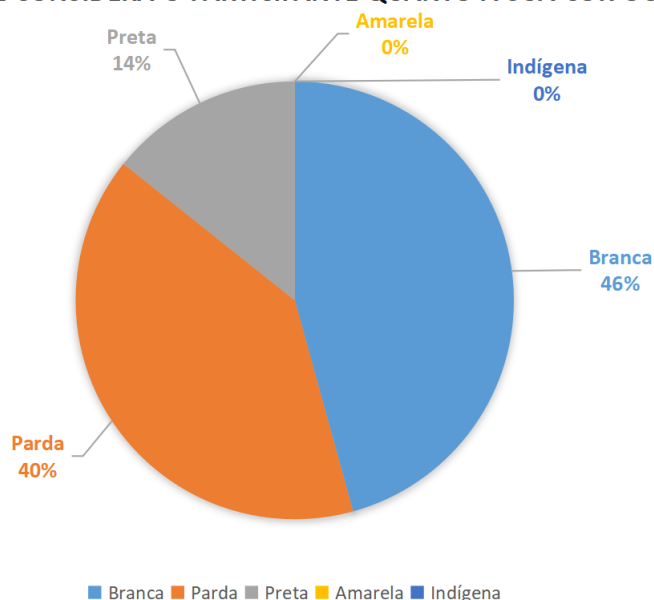
Fonte: Próprio autor.

O gráfico na Figura 39 apresenta os resultados de como o participante se considera quanto à sua cor ou raça. Percebe-se uma quantidade superior em relação aos alunos

que se consideram brancos (46%) e pardos (40%), correspondendo à maior parte dos participantes.

Figura 39 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Subexperimento 2.

**COMO SE CONSIDERA O PARTICIPANTE QUANTO A SUA COR OU RAÇA**



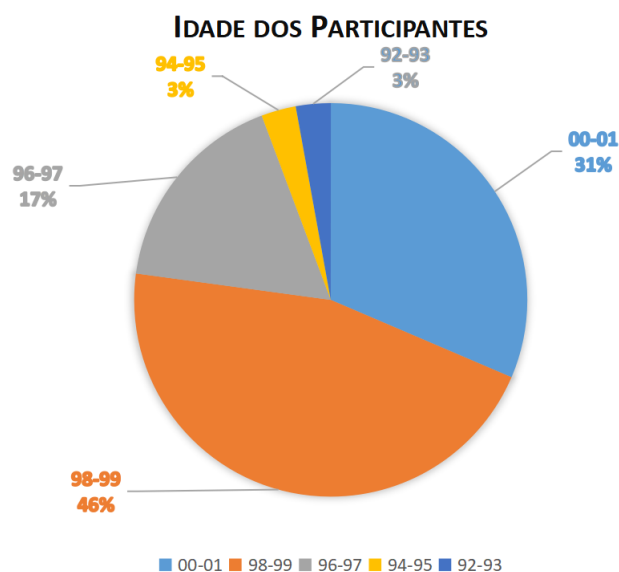
Fonte: Próprio autor.

Em relação à idade dos participantes, podemos ver no gráfico da Figura 40 que a quantidade de participantes que nasceram entre 1998-1999 é superior as outras, sendo 46%. Os que nasceram no período de 1992-1993 e 1994-1995, contemplam a mesma quantidade de pessoas (3% cada grupo), porém são a minoria dos participantes. Já os que nasceram em 2000-2001 e 1996-1997 correspondem quase a metade dos participantes.

Em relação ao sexo biológico, podemos ver no gráfico da Figura 41. É possível perceber, assim como no Subexperimento 1, uma pequena quantidade de mulheres e uma quantidade muito superior de participantes que são do sexo masculino.

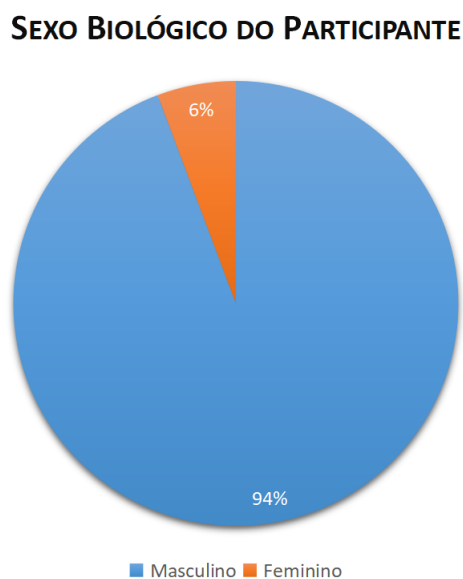
No gráfico da Figura 42, temos apresentado a quantidade de alunos que trabalham fora do expediente de estudo e a quantidade de alunos que não trabalham. Apenas 14% deles trabalha fora do expediente acadêmico, uma quantidade relativamente pequena.

Figura 40 – Representação gráfica da idade dos participantes do Subexperimento 2.



Fonte: Próprio autor.

Figura 41 – Representação gráfica do gênero dos participantes do Subexperimento 2.



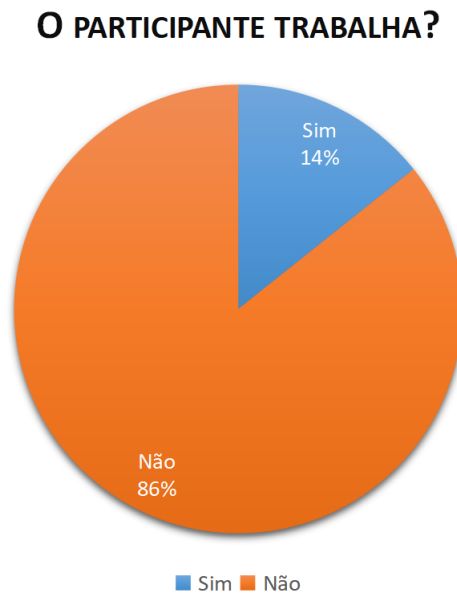
Fonte: Próprio autor.

### 6.2.2 Análise dos Resultados do Subexperimento 2

Analisando os resultados do Subexperimento 2, em relação ao Teorema 1, podemos observar na Figura 43 o ganho absoluto levando em conta cada questão do Questionário 1. O grupo de teste e o grupo de controle obtiveram ganho em várias questões, mas o grupo de controle na Questão 1.3 obteve um ganho bastante negativo influenciando no resultado do grupo como um todo.



Figura 42 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora o expediente de estudos do Subexperimento 2.



Fonte: Próprio autor.

Em relação ao Teorema 2, a Figura 44 apresenta o ganho absoluto para cada questão do Questionário 2. Ambos os grupos obtiveram bastante ganhos em várias questões. Não há nenhum valor que possa ter mudado significativamente o resultado final de algum grupo pois está bastante equilibrado os resultados.

A Tabela 6 confirma os resultados dos gráficos anteriores. Mesmo no Teorema 1 em que o grupo de teste obteve mais ganhos, ocorreu que no Teorema 2 foi diferente, de forma que o grupo de controle obteve um ligeira vantagem. Em relação ao Subexperimento 2 inteiro podemos perceber que o SVA *GraphViewer* (grupo de teste) garantiu ganhos, absoluto e normalizado, melhores do que foi obtido pelo grupo de controle, mas não foi semelhante ao Subexperimento 1 que o ganho normalizado chegou a ser quase o dobro.

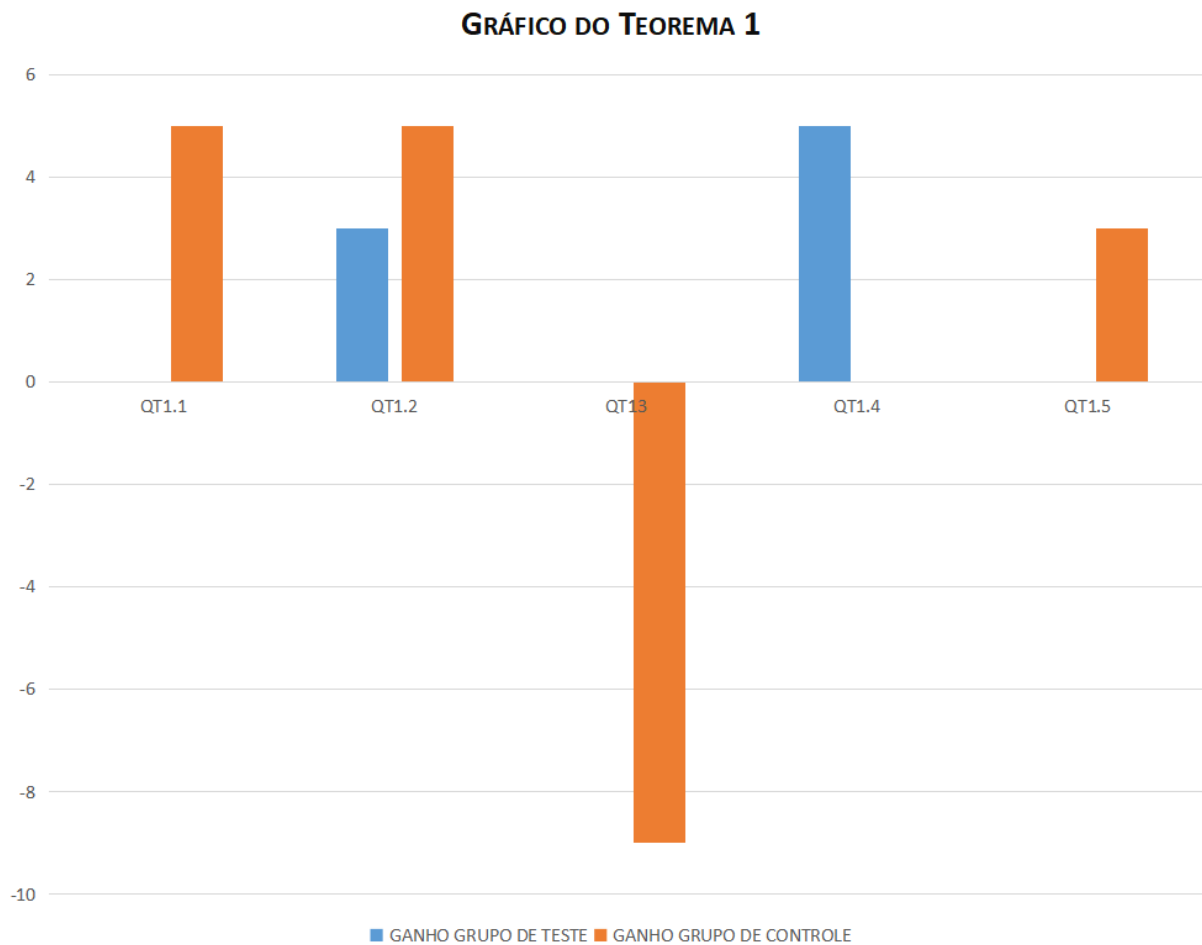
Tabela 6 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Subexperimento 2.

	Grupo	Ganho Absoluto	Ganho Normalizado
Teorema 1	Controle	4,44%	6,78%
	Teste	9,41%	13,79%
Teorema 2	Controle	13,33%	22,22%
	Teste	11,76%	21,28%
Subexperimento 2 Inteiro	Controle	8,88%	14,50%
	Teste	10,58%	17,53%

Fonte: Próprio autor.

Calculando a métrica M1. Em relação ao grupo de teste e controle, o GAA foi um

Figura 43 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 e no Subexperimento 2.



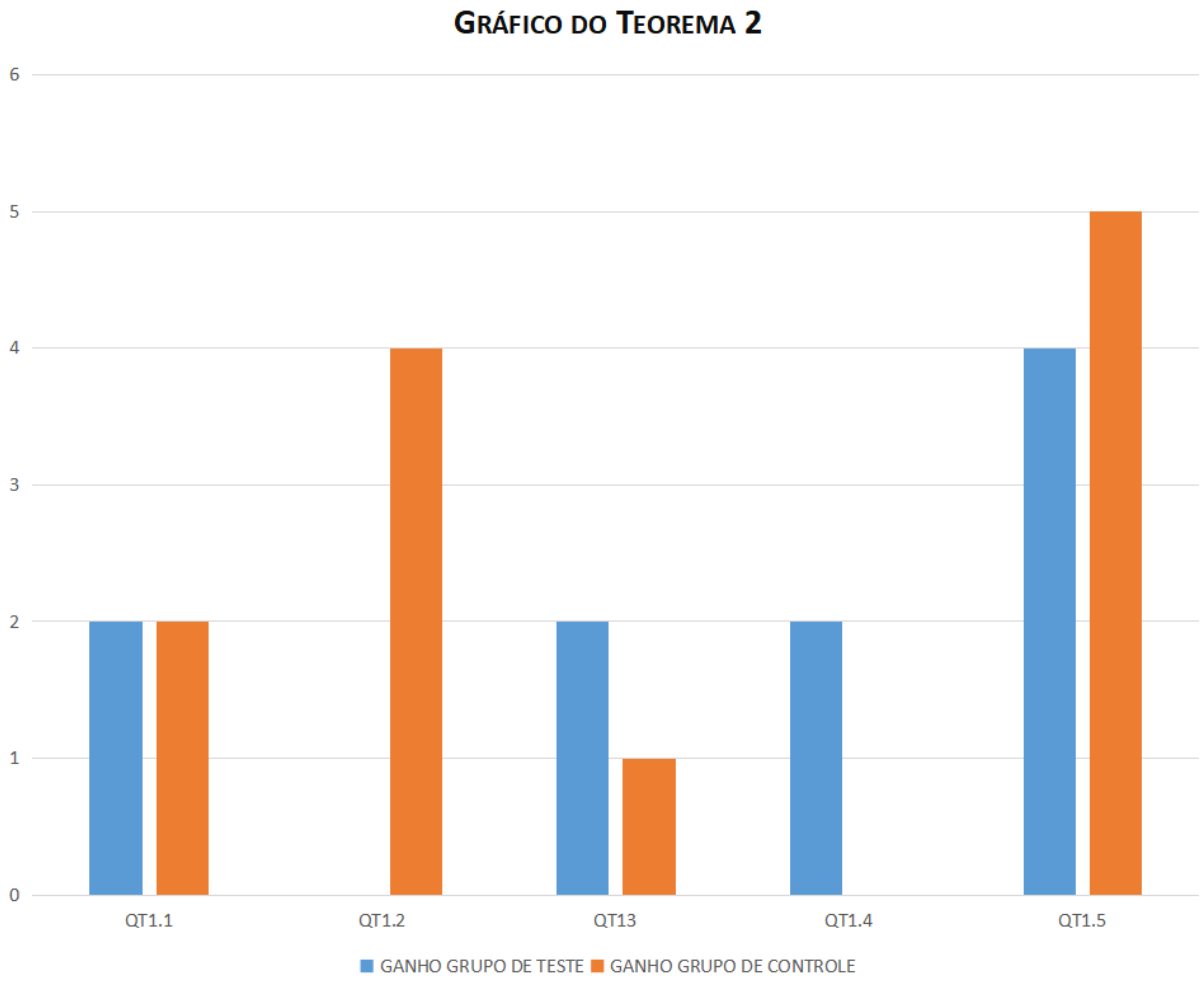
Fonte: Próprio autor.

pouco superior no grupo de teste sendo 1,70% maior e o GAN também foi superior no grupo de teste sendo 3,03% maior. Como os ganhos de aprendizagem absoluto e normalizado forem maiores no grupo de teste em relação ao grupo de controle, podemos afirmar que, mesmo sendo um valor baixo, no Subexperimento 2 também foi alcançado o valor da métrica antes estabelecida.

Assim como no Subexperimento 1 (Seção 6.1.2), foram realizados testes estatísticos para descobrir a significância desses resultados (Seção 2.8). Aplicamos o teste *Kolmogorov - Smirnov* para checar se nossos conjuntos de notas seguiam uma distribuição normal.

Em relação ao Subexperimento 2, a Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de normalidade. Percebemos que se utilizarmos o Teorema 1 e o Teorema 2 à parte, ambos os conjuntos de notas seguem uma distribuição normal. Mas quando juntamos em apenas um grupo os dados, não seguem uma distribuição normal, o que torna inviável o uso do teste *t* pareado utilizando o Subexperimento 2 Inteiro (Teorema 1 e 2 juntos).

Figura 44 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 e no Subexperimento 2.



Fonte: Próprio autor.

Após checarmos nossos conjuntos de notas em relação a seguir uma distribuição normal (ver Tabela 7) descobrimos em quais situações podemos realizar o teste  $t$  pareado. Assim como no Subexperimento 1 (Seção 6.1), utilizamos o teste  $t$  pareado, com um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , apenas onde ambos os conjuntos seguem uma distribuição normal.

Na Tabela 8 é apresentado o resultado desses testes. De todos os conjuntos de notas coletados, o único que temos uma diferença média significativa é o grupo de teste do Teorema 2, sendo o único grupo que podemos afirmar estatisticamente que os resultados são significativos. Em nenhum caso, foi possível comparar o uso do SVA *GraphViewer* ao não uso baseado nos testes estatístico, pois nos outros conjunto de notas não eram significativos os resultados.

No Momento 9, o Questionário 4 foi respondido pelos participantes do Subexperimento 2 assim como no Subexperimento 1. Um gráfico dos resultados deste questionário

Tabela 7 – Teste de Normalidade do Subexperimento 2

Teste de Normalidade - Subexperimento 2				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	✓	✓	✓	✓
Teorema 2	✓	✓	✓	✓
Subexperimento 2 Inteiro	×	✓	×	✓

(✓) Segue uma distribuição normal

(×) Não segue uma distribuição normal

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 – Teste t Dependente - Subexperimento 2 com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ )

Teste t Dependente - Subexperimento 2		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	×	×
Teorema 2	×	✓ (11,76%)
Subexperimento 2 Inteiro	-	-

(-) Teste não pode ser aplicado

(✓) Diferença é significativa

(×) Diferença não é significativa

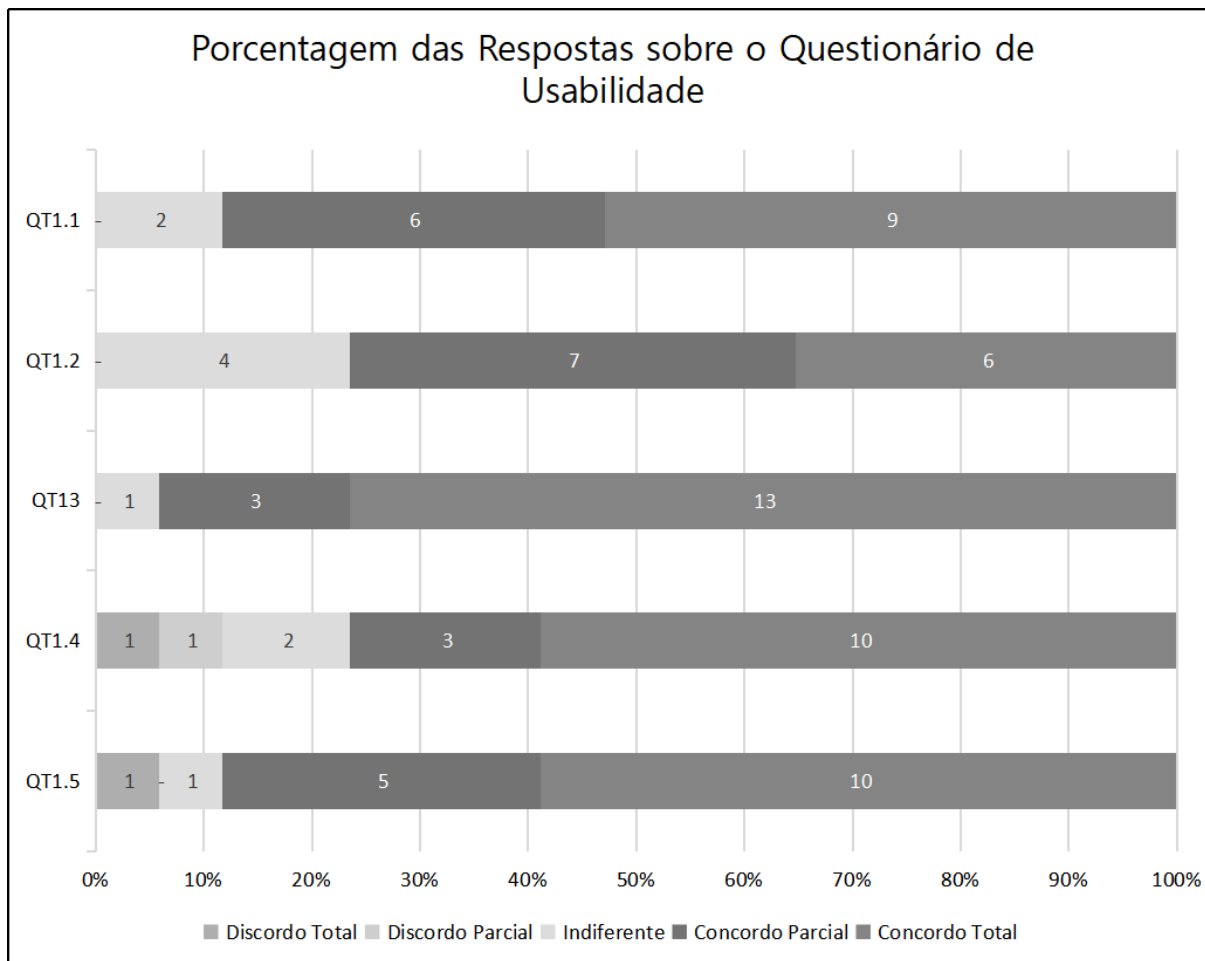
Fonte: Próprio autor.

é apresentado na Figura 45. É possível verificar que a maioria dos alunos de ambos os grupos avaliaram positivamente a usabilidade do SVA. Houve alguns participantes que discordaram das questões 1.4 e 1.5, e outros que não concordaram tão bem com as questões 1.1 e 1.2. O cálculo da métrica M2 foi 4,37, sendo 84,37% de aprovação, atendendo satisfatoriamente a métrica antes estabelecida (que era 4,0, 75% de aprovação).

### 6.2.3 Ameaças à Validade do Subexperimento 2

Uma ameaça à validade do experimento foi identificada no que diz respeito a momentos que não foi possível utilizar o teste  $t$  pareado, como por exemplo quando juntamos ambos os Teoremas 1 e 2. Como trabalhos futuros é possível realizar um teste não paramétrico para checar como seria a significância e talvez ser possível a comparação dos resultados, podendo ser positivo ou não em relação ao ganho de aprendizagem utilizando o SVA *Graph Viewer*.

Figura 45 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do *Graph Viewer* obtidos com os 17 participantes do grupo de teste do Subexperimento 2.



Fonte: Próprio autor.

## 6.3 Resultados do Experimento

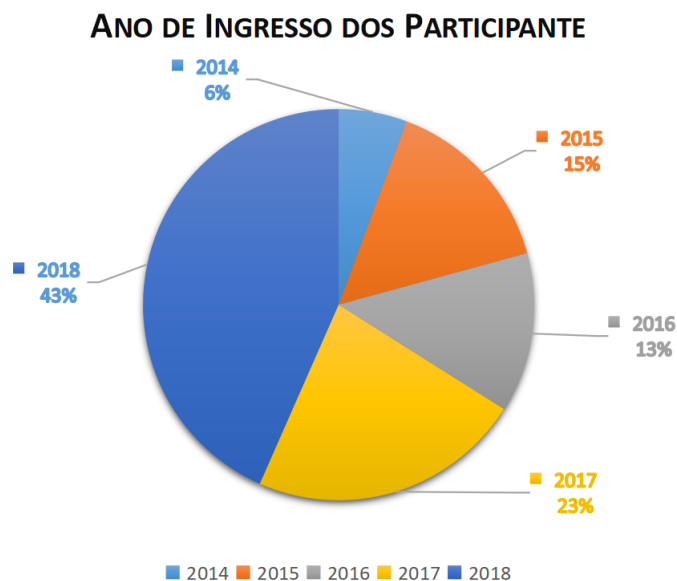
Nessa seção, serão apresentados juntos os resultados do primeiro e segundo experimento realizados, sendo respectivamente Subexperimento 1 e 2. Tendo em vista a descrições socioacadêmicas (Seção 6.3.1) e uma análise dos dados obtidos (Seção 6.3.2).

### 6.3.1 Descrição Socioacadêmica dos Resultados do Experimento

O gráfico na Figura 46 mostra de qual turma são os alunos que participaram da pesquisa. Como apresentado anteriormente, houve participantes de várias turmas, agora sendo uma quantidade maior da turma de 2018, sendo 43% dos participantes.

Em relação a como os participantes se consideram quanto a sua cor ou raça, o gráfico na Figura 47 é apresentado. Percebe-se uma quantidade superior em relação aos alunos que se consideram brancos e pardos, sendo correspondente à maior parte dos participantes.

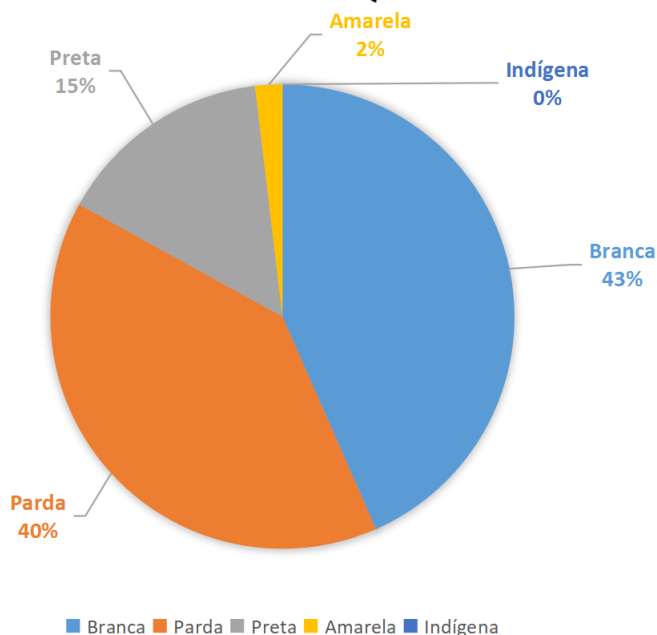
Figura 46 – Representação gráfica do ano de ingresso dos participantes do Experimento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 47 – Representação gráfica da cor/raça dos participantes do Experimento.

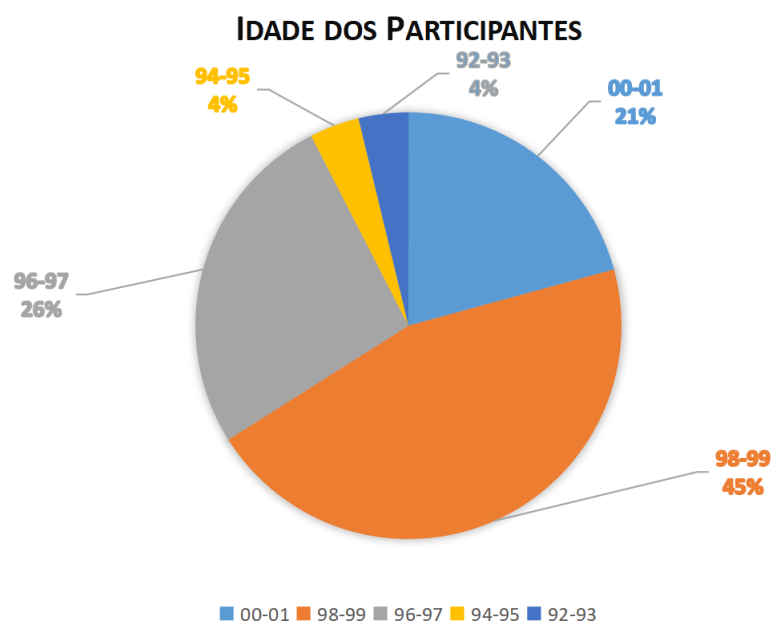
**COMO SE CONSIDERA O PARTICIPANTE QUANTO A SUA COR OU RAÇA**



Fonte: Próprio autor.

Em relação à idade dos participantes, podemos ver no gráfico da Figura 48 que a quantidade de participantes que nasceram entre 1998-1999 é superior as outras (45%). Os do período de 1992-1993 e 1994-1995, contemplam a mesma quantidade de pessoas e são a minoria dos participantes (4% cada grupo). Já os de 2000-2001 e 1996-1997, tem se uma quantidade um pouco superior a 20% cada.

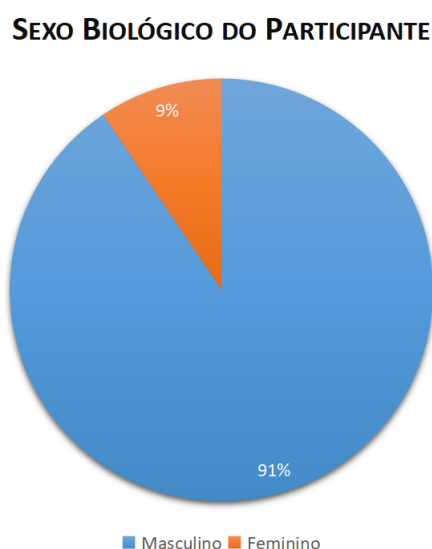
Figura 48 – Representação gráfica da idade dos participantes do Experimento.



Fonte: Próprio autor.

Em relação ao sexo biológico, no gráfico da Figura 49, é possível perceber uma pequena quantidade de mulheres, apenas 9%, e uma quantidade muito superior de participantes que são do gênero masculino sendo 91%.

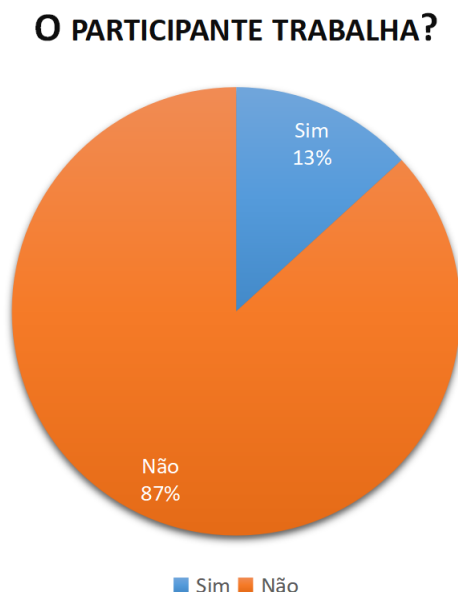
Figura 49 – Representação gráfica do sexo biológico dos participantes do Experimento.



Fonte: Próprio autor.

No gráfico da Figura 50, temos apresentado a quantidade de alunos que trabalham fora do expediente de estudo e a quantidade de alunos que não trabalham. Apenas 13% deles trabalha, sendo bastante parecido os Subexperimento 1 e 2 em relação a esta informação.

Figura 50 – Representação gráfica dos alunos que trabalham fora do expediente de estudos do Experimento.



Fonte: Próprio autor.

### 6.3.2 Análise dos Resultados do Experimento

Analizando os resultados do Experimento, em relação ao Teorema 1 podemos observar na Figura 51 o ganho absoluto levando em conta cada questão do questionário 1. O grupo de teste foi mais constante que o grupo de controle, consequência da questão 1.3 que deixou o grupo de controle com resultado negativo em relação a essa análise.

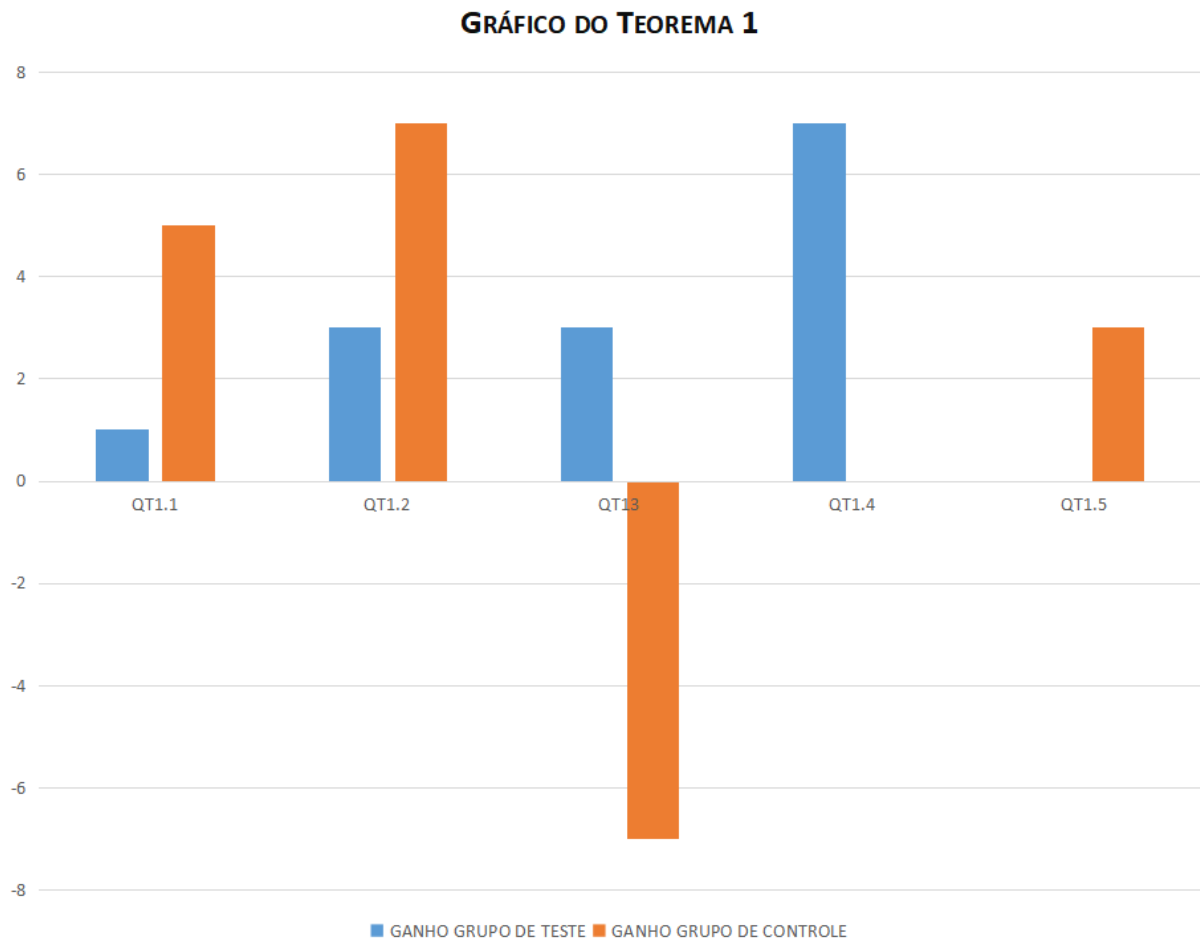
Sobre o Teorema 2, na Figura 52 percebemos que todos os grupos obtiveram ganhos relevantes com base no ganho absoluto levando em conta cada questão do Questionário 2. Percebemos também nesse que os resultados foram bem similares com o grupo de teste, havendo vantagem em algumas questões e o grupo de controle em outras assim equilibrando os resultados.

Na Tabela 9, são apresentados os ganhos de aprendizagem alcançados pelos estudantes durante o Experimento. Percebe-se que a utilização do SVA *GraphViewer* (grupo de teste) garantiu ganhos normalizados superiores em todos os cenários. Porém, não houve uma discrepância como no Subexperimento 1 que chegou a ser quase o dobro. Em relação ao ganho absoluto, percebemos que a utilização do SVA *GraphViewer* (grupo de teste) também obteve ganhos. Só não foi maior que o grupo controle quando comparamos apenas o Teorema 2 que foi 14,07% para o grupo de controle e 13,08% para o grupo de teste.

Calculando a métrica M1. Considerando o grupo de teste e controle, o GAA foi um superior no grupo de teste sendo 3,04% maior e o GAN também foi superior no grupo de teste sendo 4,99% maior. Como os ganhos de aprendizagem absoluto e normalizado



Figura 51 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 1 com base no questionário 1 e no Experimento.



Fonte: Próprio autor.

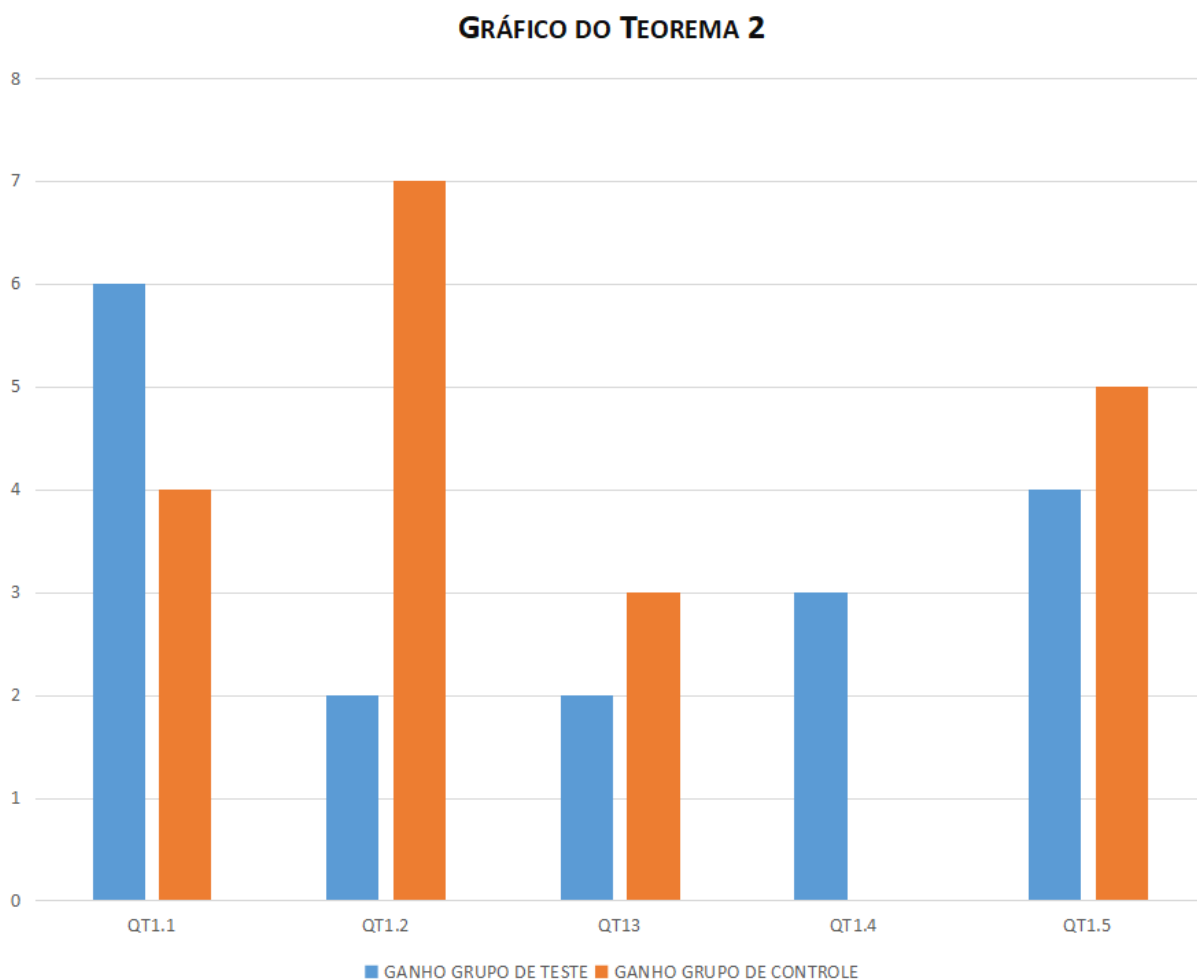
forem maiores no grupo de teste em relação ao grupo de controle, podemos afirmar que para o Experimento também foi alcançado o valor da métrica antes estabelecida.

Foram realizados testes estatísticos para descobrir a significância desses resultados (Seção 2.8). Aplicamos o teste *Kolmogorov - Smirnov* para checar se nossos conjuntos de notas seguiam uma distribuição normal com o objetivo de realizar um teste *t* pareado.

Em relação ao Experimento, a Tabela 10 apresenta os resultados dos testes de normalidade. Percebemos que, apenas em 3 casos que podemos utilizar o teste pareado, grupo de teste do Teorema 1, grupo de controle do Teorema 2 e grupo de teste do Teorema 2 são os únicos casos que ambos os conjuntos de notas seguem uma distribuição, normal possibilitando o uso do teste *t* pareado. Não podemos realizar o teste *t* pareado para o grupo de controle do Teorema 1 e nem para o grupo de controle e de teste em relação ao Experimento Inteiro porque temos a necessidade dos dois conjuntos seguirem uma distribuição normal (Seção 2.8).

Após checarmos nossos conjuntos de dados em relação a normalização (Tabela 10)

Figura 52 – Representação gráfica do resultado da pesquisa em relação ao Teorema 2 com base no questionário 2 e no Experimento.



Fonte: Próprio autor.

descobrimos em quais situações podemos realizar o teste  $t$  pareado. Utilizamos o teste  $t$  pareado, com um nível de significância de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), apenas onde ambos os conjuntos seguem uma distribuição normal.

Na Tabela 11 é apresentado o resultado desses testes. Os grupos que podemos afirmar estatisticamente que os resultados são significantes é o grupo de controle e de teste do Teorema 2, sendo onde podemos comparar o uso do SVA *Graph Viewer*. Estatisticamente o uso, ou não uso, da ferramenta é indiferente em relação ao Teorema 2. Temos 14,07% de ganho para grupo de controle e 13,08% para o grupo de teste. Lembrando que esse teste é baseado em ganho de aprendizagem absoluta, para realizar o teste utilizando ganho de aprendizagem normalizado, é necessária uma formula adaptada para o teste  $t$  pareado, o que não era viável no nosso momento. Para o Teorema 1 (grupo de teste), a diferença média das notas não foi significativa.

No Momento 9, o Questionário 4 foi respondido pelos participantes do experimento.

Tabela 9 – Ganhos de Aprendizagem Absoluto e Normalizado em relação aos Teoremas 1 e 2 a partir dos dois grupos de participantes do Experimento.

	Grupo	Ganho Absoluto	Ganho Normalizado
Teorema 1	Controle	3,70%	5,26%
	Teste	10,77%	14,89%
Teorema 2	Controle	14,07%	20,65%
	Teste	13,08%	20,99%
Experimento Inteiro	Controle	8,88%	12,95%
	Teste	11,92%	17,94%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 – Teste de Normalidade do Experimento

Teste de Normalidade - Experimento				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	✓	×	✓	✓
Teorema 2	✓	✓	✓	✓
Experimento Inteiro	×	×	×	✓

(✓) Segue uma distribuição normal

(×) Não segue uma distribuição normal

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 – Teste t Dependente - Experimento com nível de significância 95% ( $\alpha = 0,05$ )

Teste t Dependente - Experimento		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	-	×
Teorema 2	✓ (14,07%)	✓(13,08%)
Experimento Inteiro	-	-

(-) Teste não pode ser aplicado

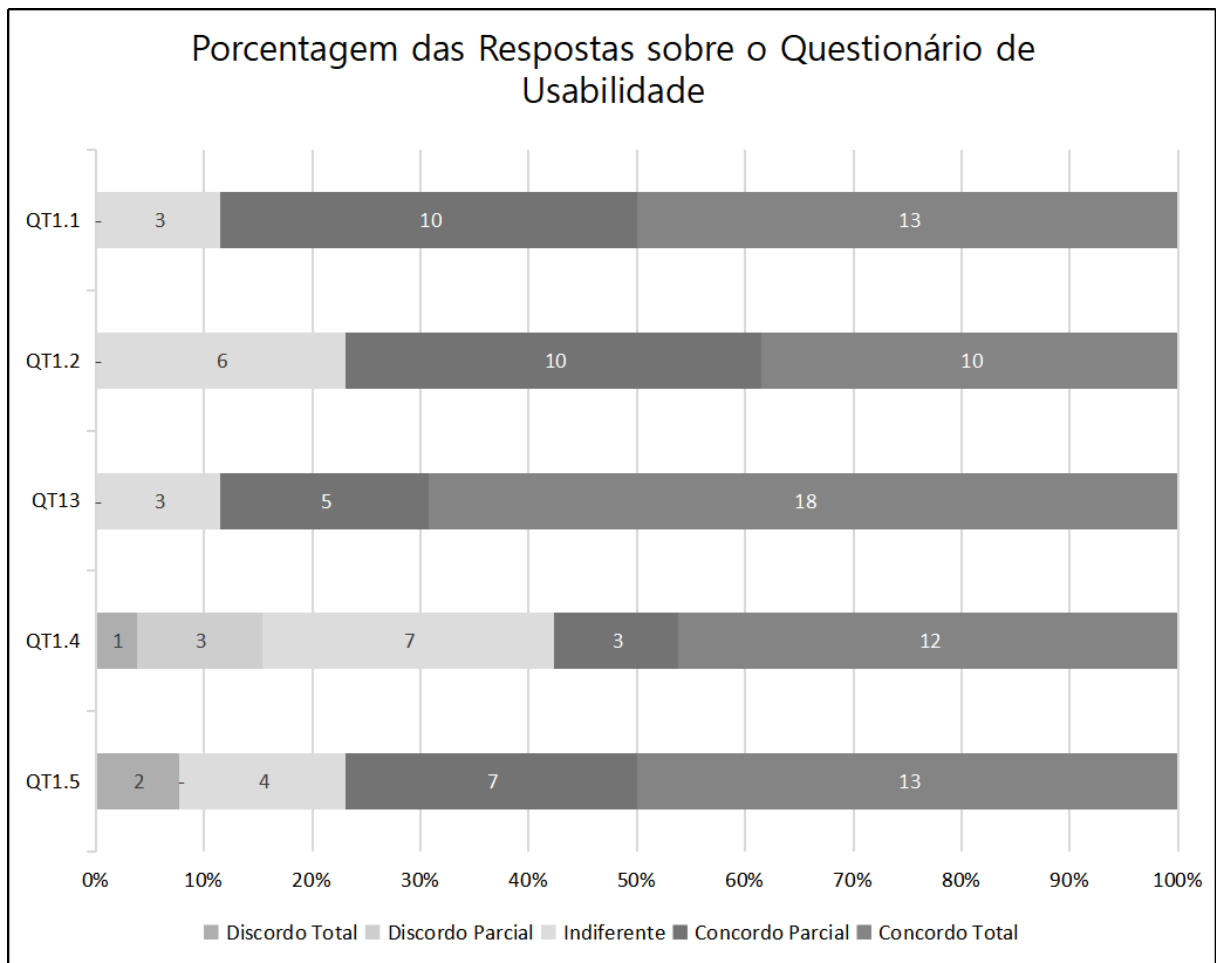
(✓) Diferença é significativa

(×) Diferença não é significativa

Fonte: Próprio autor.

Um gráfico dos resultados deste questionário é apresentado na Figura 53. É possível verificar que a maioria dos alunos de ambos os grupos avaliaram positivamente a usabilidade do SVA. Houve alguns participantes que discordaram das Questões 1.4 e 1.5, sendo duas questões passíveis de serem analisadas em trabalhos futuros para melhores satisfazer o usuário. O cálculo da métrica M2 foi 4,18, sendo 79,61% de aprovação, atendendo satisfatoriamente com a métrica antes estabelecida (que era 4,0, 75% de aprovação).

Figura 53 – Gráfico dos resultados do Questionário de Usabilidade do *Graph Viewer* obtidos com os 26 participantes do grupo de teste do Experimento.



Fonte: Próprio autor.

### 6.3.3 Ameaças à Validade do Experimento

Uma ameaça à validade do experimento foi identificada no que diz respeito a momentos que não foi possível utilizar o teste  $t$  pareado, como por exemplo no grupo de controle e teste do Experimento Inteiro. Como trabalhos futuros é possível realizar um teste não paramétrico para checar como seria a significância e talvez ser possível a comparação dos resultados, podendo ser positivo ou não em relação ao ganho de aprendizagem utilizando o SVA *Graph Viewer*.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs realizar um aperfeiçoamento da validação estatística do experimento realizado por [Carvalho \(2017\)](#). Como objetivos específicos, (i) o estabelecimento de critérios para garantir a uniformidade dos grupos de controle e de teste do experimento; (ii) a realização do experimento com ao menos cinquenta estudantes e (iii) a análise dos resultados, investigando o impacto do uso do *GraphViewer* no processo de ensino e aprendizagem em demonstração por indução em Grafos.

O trabalho realizou um aperfeiçoamento da validação estatística do experimento realizado por [Carvalho \(2017\)](#) de forma a ser uma mais rigorosa. Tivemos uma ótima amostra de dados, conseguimos critérios para garantir a uniformidade dos grupos de controle e de teste do experimento, realizamos experimentos com mais de cinquenta estudantes sendo divididos em dois subexperimentos, Subexperimento 1 e Subexperimento 2, e fizemos uma análise dos resultados, investigando o impacto do uso do SVA *GraphViewer* no processo de ensino e aprendizagem de TG com foco em demonstração por indução.

Em comparação ao trabalho de [Carvalho \(2017\)](#), contamos com a presença de muito mais participantes sendo 53, fizemos um melhor distribuição dos grupo de controle e de teste, utilizamos métricas para ganho de aprendizagem absoluto e normalizado e ainda fizemos uma avaliação inicial a respeito das significâncias dos resultados que foram obtidos. Infelizmente, em alguns resultados obtidos, não se pode apontar que são significativos por não seguirem uma distribuição normal, e com isso, não realizamos o teste paramétrico t, para amostras dependentes.

Em relação aos resultados obtidos, os únicos resultados que passaram em todos os testes e foi possível comparar é o do Teorema 2 do Experimento Completo (Seção 6.3.2). Porém, foi onde os resultados não tiveram muita diferença. Em relação a essa parte do experimento, utilizar ou não o SVA *GraphViewer*, é irrelevante estatisticamente falando. Já nos outros experimentos, mesmo que o SVA *GraphViewer* apresentasse notas que provam sua relevância em relação a ensino e aprendizagem em TG focado em demonstração por indução, não podemos afirmar que foram notas significativas. E em relação a usabilidade, o SVA *GraphViewer* foi muito bem avaliado em todos os quesitos, tendo poucos votos negativos.

Para extensão deste trabalho, é necessário fazer uma avaliação mais aprofundada usando os testes não paramétricos. Assim é possível descobrir a significância das notas obtidas (inclusive em relação ao GAN). Outra necessidade seria fazer o experimento fora da UFG - Regional Jataí, com intuito de atingir outros alunos que aprenderiam com outras metodologias de ensino diferente dos alunos da UFG.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, I. de L.; NAGAFUCHI, T. Um Estudo Histórico-Filosófico acerca do Papel das Demonstrações em Cursos de Bacharelado em Matemática. *Boletim de Educação Matemática*, v. 23, n. 37, p. 1081–1110, 2010. Citado na página 25.
- BERNARDES, L. H. Furb graphs: uma ferramenta de apoio ao aprendizado para a disciplina de teoria dos grafos. *Monografia, Universidade Regional de Blumenau*, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38 e 39.
- CARVALHO, A. M. F. T. *A extimidade da demonstração*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo, 2004. Citado na página 26.
- CARVALHO, F. A. *Ensino e Aprendizagem de Demonstração por Indução em Teoria dos Grafos utilizando um Ambiente Visual de Algoritmos*. Monografia (Graduação) — Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2017. Citado 10 vezes nas páginas 16, 17, 21, 23, 31, 37, 38, 39, 52 e 76.
- CARVALHO, F. A. et al. Ensino de Provas por Indução em Grafos utilizando uma Ferramenta Visual de Algoritmos. XXII Conferência Internacional sobre Informática na Educação (TISE), 2017. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.
- CORDEIRO, E. et al. Rin'g: Um ambiente nao-intrusivo para animação de algoritmos em grafos. In: *XII WEI, em Anais do SBC 2004-XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 1. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 26.
- FEOFILOFF, P. Exercícios de teoria dos grafos. Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, p. 7–59, 2013. Citado na página 19.
- FINCHER, S.; PETRE, M. Algorithm visualization. *Computer science education research*, CRC Press, 2004. Citado na página 16.
- GARCIA, I. C.; REZENDE, P. d.; CALHEIROS, F. C. Astral: um ambiente para ensino de estruturas de dados através de animações de algoritmos. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 1, n. 1, p. 71–80, 1997. Citado na página 28.
- GERSTING, J. L. *Fundamentos matemáticos para a ciência da computação: um tratamento moderno de matemática discreta*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 19, 22 e 24.
- GLADCHEFF, A. P.; SANCHES, R.; SILVA, D. M. da. Um instrumento de avaliação de qualidade de software educacional: como elaborá-lo. *Pensamento & Realidade. Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Administração-FEA. ISSN 2237-4418*, v. 11, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 52.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, AAPT, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998. Citado na página 30.

- HEXSEL, R. A. Propostas de ações de governo para incentivar o uso de software livre. *Relatório técnico do departamento de informática da UFPR*, v. 4, p. 2002, 2002. Citado na página 36.
- LAKATOS, E.; MARCONI, M. de A. *Fundamentos de Metodologia Científica. Atlas*. 2003. 145 p. Citado na página 49.
- LOZADA, L. A. P. A-Graph: Uma ferramenta computacional de suporte para o ensino-aprendizado da disciplina Teoria dos Grafos e seus Algoritmos. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 3, n. 1, p. 61. Citado 3 vezes nas páginas 36, 37 e 38.
- MACHADO, A. S. Uso de softwares educacionais, objetos de aprendizagem e simulações no ensino de química. *Revista Química Nova na Escola*, v. 38, n. 2, p. 104–111, 2016. Citado na página 52.
- MANSO, A.; OLIVEIRA, L.; MARQUES, C. G. Ambiente de aprendizagem de algoritmos—Portugol IDE. In: *VI Conferência Internacional de TIC na Educação*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 969–983. Citado 3 vezes nas páginas 16, 27 e 31.
- MARÔCO, J. *Análise Estatística com Utilização do SPSS.: 3ª edição*. [S.l.]: Sílabo, Lda, 2007. ISBN 978-972-618-452-2. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- MENEZES, P. B. *Matemática Discreta para Computação e Informática-: Volume 16 da Série Livros didáticos informática UFRGS*. [S.l.]: Artmed Editora, 2013. v. 16. Citado na página 22.
- MOTA, M. C.; CARVALHO, M. P. de. Os diferentes tipos de demonstrações: Uma reflexão para os cursos de Licenciatura em matemática. *Revista da Educação Matemática*, v. 1, 2011. Citado na página 22.
- NASSER, L. Educação Matemática no ensino superior. *Mesa redonda: “Educação Matemática no ensino superior”, Anais do VIII ENEM. Pernambuco: Ufpe*, 2004. Citado na página 26.
- NEMOTO, T.; BEGLAR, D. Likert-scale questionnaires. In: *JALT 2013 Conference Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–8. Citado na página 50.
- PICOLI, J. G.; SANTOS, R. V. M. dos; MENDES, T. M. Proposta de uma ferramenta computacional para facilitar a aprendizagem sobre caminhamento em grafos/proposal of a computational tool to facilitate the learning about walking in graphs. *Brazilian Applied Science Review*, v. 3, n. 1, p. 712–720, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- PIMENTEL, E. P. et al. Avaliação contínua da aprendizagem, das competências e habilidades em programação de computadores. In: *Anais do Workshop de Informática na Escola*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, n. 1, p. 533–544. Citado na página 27.
- REBELO, B. et al. Sistema colaborativo de suporte à aprendizagem em grupo da programação—SICAS-COL. *Proceedings of the VII Simpósio Internacional de Informática Educativa, Leiria, Portugal*, 2005. Citado na página 28.
- SANGIORGI, U. B. Rox: Uma Ferramenta para o auxílio no aprendizado de teoria dos Grafos. *IV ERBASE—Escola Regional de Computação Bahia-Sergipe. Anais do Evento: UEFS*, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

- SANTOS, J. P.; MELLO, M.; MURARI, I. *Introdução à Análise Combinatória*. [S.l.]: Unicamp, 2002. Citado na página 16.
- SANTOS, R. P. et al. O uso de ambientes gráficos para ensino e aprendizagem de estruturas de dados e de algoritmos em grafos. In: *Anais do XVI Workshop sobre Educação em Computação, XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 157–166. Citado 3 vezes nas páginas 16, 26 e 31.
- SANTOS, R. P.; COSTA, H. A. X. TBC-GRAFOS/WEB—treinamento baseado em computador para algoritmos em grafos via web. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), 2007. Citado na página 16.
- SANTOS, R. P. dos; COSTA, H. A. X. TBC-AED: Um software gráfico para apresentação de algoritmos e estruturas de dados aos iniciantes em computação e informática. *Disponível em: <http://www.cos.ufrj.br/rps/pub/completos/2005/COMPSULMT.pdf>*. Acesso em agosto de, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 28.
- SCHLIEP, A.; HOCHSTATTLER, W. 18 Developing Gato and CATBox with Python: Teaching Graph Algorithms. In: SPRINGER SCIENCE & BUSINESS MEDIA. *Multimedia Tools for Communicating Mathematics: [presentations at an International Workshop MTCM2000, Organized at the Centro de Matemática E Aplicações Fundamentais at the University of Lisbon, in November 2000]*. [S.l.], 2002. v. 1, p. 291. Citado na página 28.
- SOARES, T. et al. Uma proposta metodológica para o aprendizado de algoritmos em grafos via animação não-intrusiva de algoritmos. In: *III Workshop de Educação Em Computação e Informática Do Estado de Minas Gerais (WEIMIG'2004)*. Belo Horizonte, MG, Brasil. [S.l.: s.n.], 2004. Citado na página 31.
- SOLINGEN, R. V. et al. Goal question metric (gqm) approach. *Encyclopedia of software engineering*, Wiley Online Library, 2002. Citado na página 51.
- SOMMERVILLE, I. *Software Engineering*. 9. ed. [S.l.]: Pearson, 2010. Citado na página 51.
- SOUSA, E. K. V. d. *Um estudo sobre o ensino-aprendizagem das demonstrações matemáticas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. Citado na página 21.
- SOUZA, C. M. de. VisuAlg-Ferramenta de apoio ao ensino de programação. *Revista Eletrônica TECCEN*, v. 2, n. 2, p. 01–09, 2009. Citado na página 28.
- STEIN, C.; DRYSDALE, R. L.; BOGART, K. *Matemática Discreta para a ciência da computação*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.



# Anexos

# ANEXO A – TEOREMAS

Neste anexo, vamos apresentar os teoremas utilizados no trabalho, sendo Teoremas 1 e 2 utilizados no *GraphViewer* e no Questionário 1 e 2, respectivamente.

**Teorema 1.** *Dado um grafo  $G$  qualquer, a soma dos graus dos vértices é o dobro do número de arestas.*

**Teorema 2.** *Toda árvore com  $n$  vértices tem  $n - 1$  arestas .*

# ANEXO B – QUESTIONÁRIOS

Neste anexo, vamos apresentar os questionários utilizados no experimento. Os questionários seguintes são o Socioacadêmico, Questionário do Teorema 1, Questionário do Teorema 2 e Questionário de Usabilidade.

## B.1 Questionário 1 - Teorema 1

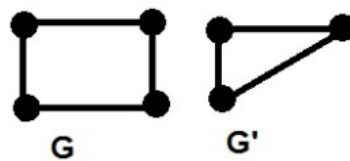
1. Informe o seu Email:

1) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

2. A hipótese da indução no Teorema 1 não afirma que:

- 1) "a" não pertence ao conjunto de arestas de  $G'$ .
- 2)  $G'$  tem  $m-1$  arestas.
- 3)  $G$  tem todas as arestas de  $G'$  além da aresta "a".
- 4) O caso básico atende satisfatoriamente para valores de  $m > 0$ .
- 5)  $a \in A(G)$ .

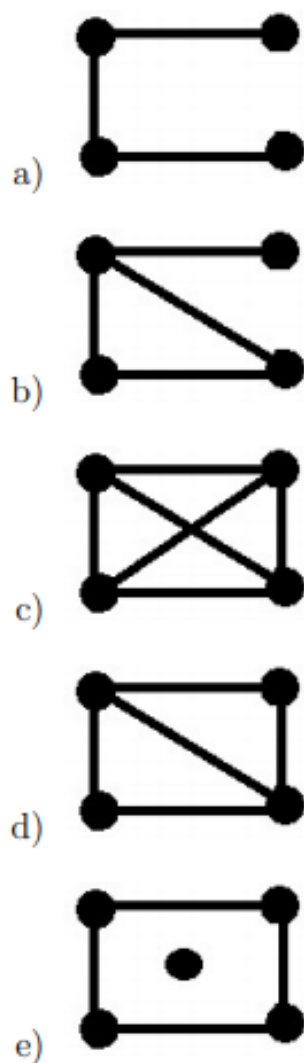
3. A hipótese da indução menciona dois grafos:  $G$  e  $G'$ . Os dois grafos abaixo podem representá-los, respectivamente?



- 1) Verdadeiro.
  - 2) Falso.
4. É válido efetuar o passo da indução de  $G'$  para  $G$ , pois:
- 1)  $G$  tem uma aresta a mais do que  $G'$ .
  - 2) A soma dos graus das arestas de  $G$  é  $2(m-1)$ .
  - 3) O vértice "a" tem duas arestas distintas.
  - 4)  $G'$  tem duas arestas a menos que  $G$ .
  - 5)  $G' \notin m - 1$ .

5. O caso básico garante que o Teorema 1 é verdadeiro para um certo tipo de grafo. Que tipo de grafos são estes?
- 1) Grafos vazios.
  - 2) Grafos completos.
  - 3) Circuitos.
  - 4) Caminhos.
  - 5) Árvores.
6. A hipótese da indução menciona dois grafos:  $G$  e  $G'$ . Se o grafo  $G$  for conforme apresentado abaixo, qual das opções poderia ser  $G'$ ?





## B.2 Questionário 2 - Teorema 2

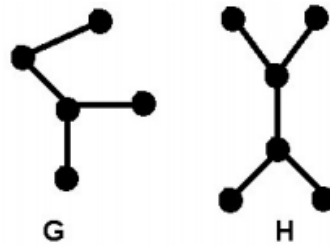
1. Informe o seu Email:

1) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

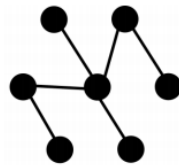
2. A hipótese da indução no Teorema 2 afirma que:

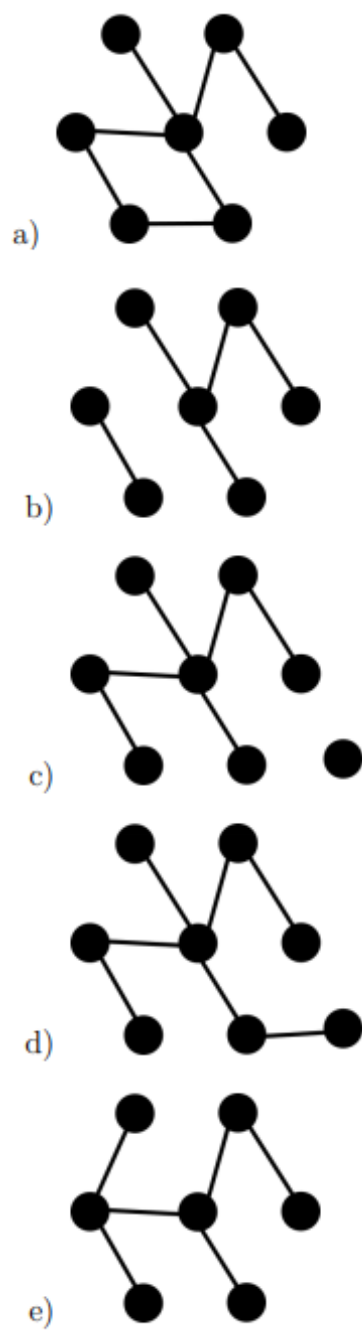
- 1) Se uma árvore tem três vértices, então esta árvore deve ter duas arestas.
- 2) Se uma árvore tem dois vértices, então esta árvore deve ter três arestas.
- 3) Se uma árvore tem dois vértices, então esta árvore deve ter duas arestas.
- 4) Se uma árvore tem duas arestas, então esta árvore tem três vértices.
- 5) Se uma árvore tem três arestas, então esta árvore tem dois vértices.

3. No passo da indução, são mencionados dois grafos: G e H. Os dois grafos abaixo podem representá-los respectivamente?



- 1) Verdadeiro.
  - 2) Falso.
4. É válido efetuar o passo da indução de G para H, pois:
- 1) H tem um vértice a mais do que G.
  - 2) O número de arestas de H é  $k-1$ .
  - 3) A aresta "v" tem dois vértices distintos.
  - 4) G tem dois vértices a mais do que H.
  - 5)  $G \notin k - 1$ .
5. O caso básico garante que o teorema 2 é verdadeiro para um certo tipo de grafo. Que tipo de grafo é este?
- 1) Grafo completo com 1 vértice.
  - 2) Árvore.
  - 3) Circuito com três vértices.
  - 4) Caminho.
  - 5) Grafo vazio com dois vértices.
6. O passo da indução menciona dois grafos: G e H. Se o grafo G for conforme apresentado abaixo, qual das opções poderia ser H?





## B.3 Questionário 3 - Socioacadêmico

### 1. Consentimento de Participação na Pesquisa

- 1) Concordo com o TCLE e declaro ciência.
- 2) Não desejo participar da pesquisa.

### 2. Deseja receber uma cópia do TCLE?

- 1) Não há necessidade.
- 2) Sim, via email.
- 3) Sim, impresso em papel.

### 3. Informe o seu Email:

- 1) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

### 4. Gênero

- 1) Masculino
- 2) Feminino

### 5. Data de Nascimento

- 1) XX/XX/XXXX

### 6. Como você se considera quanto a sua cor ou raça?

- 1) Branca
- 2) Preta
- 3) Parda
- 4) Amarela
- 5) Indígena

### 7. Estado Civil:

- 1) Solteiro
- 2) Casado

### 8. Tem filhos?

- 1) Sim



2) Não

9. Se sim, quantos?

1) XXXXXXX

10. Trabalha?

1) Sim

2) Não

11. Se sim, quantas horas ao dia?

1) 4 Horas

2) 6 Horas

3) 8 Horas

12. Você contribui na renda familiar?

1) Sim

2) Não

13. Ano de ingresso no curso superior:

1) XXXX

14. Cursou a disciplina de Grafo?

1) Sim

2) Não

15. Há quanto tempo cursou a disciplina?

1) Semestre passado

2) Há 1 ano

3) Há 2 anos

4) Há mais de 2 anos

5) Não cursei a disciplina ainda

## B.4 Questionário 4 - Usabilidade

1. Informe o seu Email:
  - 1) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
2. O uso do software foi de fácil aprendizagem
  - 1) Concordo Plenamente.
  - 2) Concordo Parcialmente.
  - 3) Indiferente.
  - 4) Discordo Parcialmente.
  - 5) Discordo Totalmente.
3. Uma vez aprendido, foi rápido e produtivo o seu uso
  - 1) Concordo Plenamente.
  - 2) Concordo Parcialmente.
  - 3) Indiferente.
  - 4) Discordo Parcialmente.
  - 5) Discordo Totalmente.
4. É possível que, depois de um certo tempo sem usar o software, o usuário lembre facilmente de como utilizá-lo
  - 1) Concordo Plenamente.
  - 2) Concordo Parcialmente.
  - 3) Indiferente.
  - 4) Discordo Parcialmente.
  - 5) Discordo Totalmente.
5. O software não tem erros de execução e nem leva o usuário a cometer erros
  - 1) Concordo Plenamente.
  - 2) Concordo Parcialmente.
  - 3) Indiferente.
  - 4) Discordo Parcialmente.
  - 5) Discordo Totalmente.
6. O software atende satisfatoriamente às necessidades do usuário

- 1) Concordo Plenamente.
- 2) Concordo Parcialmente.
- 3) Indiferente.
- 4) Discordo Parcialmente.
- 5) Discordo Totalmente.

## ANEXO C – RESULTADO DOS $P$ VALORES

Tabela 12 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Subexperimento 1.

Teste de Normalidade Subexperimento 1 - p-valor				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	0,41552.	0,00741.	0,41552.	0,23937.
Teorema 2	0,39135.	0,18008.	0,30655.	0,93039.
Experimento	0,23742.	0,00107.	0,07909.	0,24643.

Tabela 13 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Subexperimento 1.

Teste t Pareado Subexperimento 1 - p-valor		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	-	0,04974.
Teorema 2	0,00808.	0,1328.
Subxperimento 1 Inteiro	-	0,01463.

(-) Teste não pode ser aplicado.

Tabela 14 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Subexperimento 2.

Teste de Normalidade Subexperimento 2 - p-valor				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	0,26231.	0,36169.	0,1247.	0,68377.
Teorema 2	0,10156.	0,41504.	0,32747.	0,41342.
Experimento	0,04671.	0,37403.	0,04123.	0,28032.

Tabela 15 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Subexperimento 2.

Teste t Pareado Subexperimento 2 - p-valor		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	0,59368.	0,32427.
Teorema 2	0,05488.	0,03671.
Subxperimento 2 Inteiro	-	-

(-) Teste não pode ser aplicado.

Tabela 16 – p-valores obtidos após os testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov em relação as notas de cada aluno no Experimento.

Teste de Normalidade Experimento - p-valor				
	Grupo de Controle		Grupo de Teste	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Teorema 1	0,18265.	0,00818.	0,10621.	0,19695.
Teorema 2	0,17111.	0,2415.	0,10698.	0,31112.
Experimento	0,03657.	0,00395.	0,01652.	0,08973.

Tabela 17 – p-valores obtidos após os testes t pareado em relação ao ganho absoluto de cada aluno no Experimento.

Teste t Pareado Experimento - p-valor		
	Grupo de Controle	Grupo de Teste
Teorema 1	-	0,09968.
Teorema 2	0,00435.	0,00836.
Experimento Inteiro	-	-

(-) Teste não pode ser aplicado.