



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**PROJETO DE UM GERADOR ELETROSTÁTICO DE VAN DE GRAAFF E  
APLICAÇÕES NO ENSINO DE ELETROSTÁTICA**

Thiago Alvarez Miranda

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro

Outubro de 2019

**PROJETO DE UM GERADOR ELETROSTÁTICO DE VAN DE GRAAFF E  
APLICAÇÕES NO ENSINO DE ELETROSTÁTICA**

Thiago Alvarez Miranda

Orientador: Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Dr. Helio Salim de Amorim (Presidente)

---

Dr. Ladário da Silva

---

Dr. Carlos Augusto Domingues Zarro

## FICHA CATALOGRÁFICA

M672p      Miranda, Thiago Alvarez  
              Projeto de um gerador eletrostático de Van de  
Graaff e aplicações no ensino de eletrostática /  
Thiago Alvarez Miranda. -- Rio de Janeiro, 2019.  
              148 f.

              Orientador: Helio Salim de Amorim.  
              Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós  
Graduação em Ensino de Física, 2019.

              1. Gerador Eletrostático de Van de Graaff. 2.  
Aplicações no Ensino de Eletrostática. 3. Ensino de  
Física. 4. Universidade Federal do Rio de Janeiro.  
5. Mestrado Profissional. I. Amorim, Helio Salim  
de, orient. II. Título.

*À Deus, à Nossa Senhora de  
Fátima, à minha mãe Irene, à  
minha esposa Daiane, aos  
meus filhos Maria Clara e  
Gabriel e à memória do meu  
avô Francisco dedico este  
trabalho.*

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos os professores do programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em especial ao meu orientador, professor Dr. Helio Salim de Amorim, pela sua paciência, sabedoria e dedicação na orientação deste trabalho.

Meu agradecimento também aos professores Dr. Ladário da Silva e Dr. Carlos Augusto Domingues Zarro por aceitarem participar da minha banca.

Agradeço à minha mãe Irene que sempre, com muito esforço e dedicação, trabalhou para a minha criação e desenvolvimento, exercendo, assim, a função de mãe e pai na minha vida.

À minha esposa, Daiane Brito da Encarnação por me apoiar e incentivar; e também pelas valiosas correções e sugestões em relação ao texto.

Ao meu Amigo Sandro Monteiro da Costa pelas orientações e sugestões dadas ao longo de toda a minha jornada acadêmica, principalmente na realização deste trabalho.

Agradeço à minha filha Maria Clara e ao meu filho Gabriel por entender os meus momentos de ausência, dedicando ao trabalho um tempo que deveria ser compartilhado com eles.

Aos meus avós Rosa, Francisco (*in memoriam*) e Delza (*in memoriam*) que sempre lutaram e contribuíram, mesmo que indiretamente, na minha formação tanto como ser humano quanto como físico.

Ao meu Pai Paulo Cesar Miranda (*in memoriam*) e ao meu tio Gil (*in memoriam*).

Aos colegas de turma por tornar o ambiente de sala de aula mais descontraído e pelas trocas de experiência sempre valiosas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

### PROJETO DE UM GERADOR ELETROSTÁTICO DE VAN DE GRAAFF E APLICAÇÕES NO ENSINO DE ELETROSTÁTICA

Thiago Alvarez Miranda

Orientador:

Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Diante das limitações e dificuldades que o professor encontra em sala de aula para o ensino de física e execuções de atividades experimentais, a presente pesquisa tem por objetivo propor a montagem e o uso do gerador de Van de Graaff (GVG) em atividades experimentais e relacioná-lo aos conteúdos a serem trabalhados nas aulas. Serão apresentados alguns fatos históricos, aplicações e componentes do GVG, destacando o seu funcionamento, além do processo de montagem de um modelo pensado no baixo custo, na acessibilidade das peças e no transporte. O intuito da dissertação foi proporcionar um ensino atrativo, pautado no ato experimental, utilizando-o como meio motivacional na assimilação dos saberes. Todo o trabalho executado na construção do nosso modelo de GVG foi realizado por mim, com recursos ferramentais simples disponíveis em uma oficina de bairro. Em síntese, o presente trabalho, em sua proposta mais geral, é contribuir para melhor adequar os conteúdos da Eletrostática, fazendo com que a desmotivação e o desinteresse sejam substituídos por participação e assimilação. Essa pesquisa não tem o objetivo de avaliar a eficácia do GVG como recurso de instrumentação para o ensino, mas sim possibilitar uma alternativa de aquisição e de uso.

Palavras-chave: Ensino de Física, Atividade Experimental, Gerador de Van de Graaff.

# ABSTRACT

## PROJECT OF AN ELECTROSTATIC GENERATOR OF VAN DE GRAAFF AND APPLICATIONS IN THE EDUCATION OF ELECTROSTATICS

Thiago Alvarez Miranda

Advisor:

Dr. Helio Salim de Amorim

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Given the limitations and difficulties that the teacher encounters in the classroom for teaching physics and performing experimental activities, this research aims to propose the assembly and use of the Van de Graaff generator (GVG) in experimental activities and relate you to the contents to be worked on in class. Some historical facts, applications and components of the GVG will be presented, highlighting its operation, as well as the assembly process of a model designed for low cost, parts accessibility and transportation. The purpose of the dissertation was to provide an attractive teaching, based on the experimental act, using it as a motivational means in the assimilation of knowledge. All the work done on building our GVG model was done by me, with simple tooling resources available at a neighborhood workshop. In summary, the present work, in its more general proposal, is to contribute to better adjusting the contents of Electrostatics, causing demotivation and disinterest to be replaced by participation and assimilation. This research is not intended to evaluate the effectiveness of GVG as an instrumentation resource for teaching, but rather to provide an alternative for acquisition and use.

Keywords: Physics Teaching, Experimental Activity, Van de Graaff Generator.

## SUMÁRIO

<b>Lista de figuras .....</b>	<b>X</b>
<b>Lista de siglas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 2 – O Gerador Eletrostático de Van de Graaff (GVG) .....</b>	<b>25</b>
2.1 – A história do gerador de Van de Graaff.....	25
2.2 – Componentes, Princípio de funcionamento do GVG e Processos de eletrização.....	27
2.3 – Algumas Motivações para a construção, pelo professor, do nosso modelo de gerador de van de Graaff.....	32
2.3.1 - Preço.....	32
2.3.2 - Viabilidade para experimentações nas aulas.....	32
2.3.3 - Possibilidade de uso do GVG em locais sem energia elétrica.....	33
<b>Capítulo 3 – Processo de Montagem do GVG .....</b>	<b>34</b>
3.1 – Materiais.....	34
3.2 - Descrição dos materiais.....	35
3.3 - Procedimento de montagem do GVG.....	43
<b>Capítulo 4 – Outros projetos, dificuldades e propostas experimentais.....</b>	<b>72</b>
4.1 – Esse não foi o meu primeiro projeto de GVG!.....	72
4.2 – Dificuldades encontradas.....	74
4.3 – Algumas propostas experimentais.....	77
4.3.1 – Blindagem eletrostática.....	77
4.3.2 – Linhas do campo elétrico, diferença de potencial e superfícies equipotenciais.....	77
<b>Capítulo 5 – Considerações finais .....</b>	<b>81</b>
<b>Referências .....</b>	<b>83</b>



<b>ANEXO I – Patente original de Robert Jemison Van de Graaff .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO II – Proposta orçamentaria do GVG (PIMPÃO) .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE A – Proposta de aplicações do GVG em sala de aula .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE B – Algumas referências interessantes sobre a cultura Maker na internet .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE C – Algumas referências sobre projetos de construção de gerador de Van de Graaff .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE D – Procedimento de montagem do gerador eletrostático de Van de Graaff e algumas propostas simples de aplicação do GVG em sala de aula (MATERIAL DO PROFESSOR) .....</b>	<b>104</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.1</b> – Oficina de torno Beira Linha de Teresópolis (RJ) .....	19
<b>Figura 1.2</b> – Roletes da correia transportadora de carga .....	19
<b>Figura 2.1</b> – Foto de Robert Jemison Van de Graaff .....	25
<b>Figura 2.2</b> – GVG construído por Robert Jemison Van de Graaff.....	26
<b>Figura 2.3</b> – Componentes do GVG .....	27
<b>Figura 2.4</b> – Esquema 1 e 2 de funcionamento do GVG .....	27
<b>Figura 2.5</b> – Esquema 3 e 4 de funcionamento do GVG .....	28
<b>Figura 2.6</b> – Série triboelétrica .....	29
<b>Figura 2.7</b> – Representação do processo de eletrização por atrito .....	30
<b>Figura 2.8</b> – Representação do processo de eletrização por contato .....	31
<b>Figura 2.9</b> – Representação do processo de eletrização por indução .....	32
<b>Figura 3.1</b> – Tela protetora de alimento .....	35
<b>Figura 3.2</b> – Faixa elástica .....	36
<b>Figura 3.3</b> – Parte de um cano PVC (75 mm de diâmetro) .....	36
<b>Figura 3.4</b> – Cap do tubo PVC (75 mm de diâmetro) .....	37
<b>Figura 3.5</b> – Forma de pizza feita de alumínio .....	37
<b>Figura 3.6</b> – Roldana Plástica para varal .....	38
<b>Figura 3.7</b> – Rolamentos 607.....	38
<b>Figura 3.8</b> – Parafusos fenda limão .....	39
<b>Figura 3.9</b> – Porcas sextavadas .....	39
<b>Figura 3.10</b> – Arruelas .....	39
<b>Figura 3.11</b> – Barra rosqueada .....	40
<b>Figura 3.12</b> – Motor de impressora .....	40
<b>Figura 3.13</b> – Fio paralelo .....	40
<b>Figura 3.14</b> – Chave <i>margirius</i> .....	41
<b>Figura 3.15</b> – Pedaco de papel alumínio .....	41

<b>Figura 3.16</b> – Chip para bateria .....	41
<b>Figura 3.17</b> – Plugue P4 parafuso .....	42
<b>Figura 3.18</b> – Fonte 12V – 1A .....	42
<b>Figura 3.19</b> – Pedacos de tubo PVC (20mm de diâmetro) .....	42
<b>Figura 3.20</b> – Barbante .....	43
<b>Figura 3.21</b> – Elástico .....	43
<b>Figura 3.22</b> – O nosso modelo de GVG dividido pelas etapas de construção ..	44
<b>Figura 3.23</b> – Marcação do <i>cap</i> na tela protetora de alimento .....	45
<b>Figura 3.24</b> – Marcação para o corte na tela protetora de alimento .....	45
<b>Figura 3.25</b> – Execução do corte na tela protetora de alimento .....	45
<b>Figura 3.26</b> – Encaixe do <i>cap</i> na tela protetora de alimento .....	46
<b>Figura 3.27</b> – Fixando o <i>cap</i> na tela protetora de alimento utilizando massa epóxi .....	46
<b>Figura 3.28</b> – Modelando a massa epóxi ao redor do <i>cap</i> .....	46
<b>Figura 3.29</b> – Furação do <i>cap</i> .....	47
<b>Figura 3.30</b> – Modelagem do pino coletor superior.....	47
<b>Figura 3.31</b> – Encaixe do pino coletor superior.....	48
<b>Figura 3.32</b> – Fixação do pino coletor superior.....	48
<b>Figura 3.33</b> – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.1) .....	48
<b>Figura 3.34</b> – Retirando a ‘cabeça’ do rebite .....	49
<b>Figura 3.35</b> – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.2) .....	49
<b>Figura 3.36</b> – Fixação entre as telas semiesféricas via pedaço de metal moldado em U.....	49
<b>Figura 3.37</b> – Fixação entre as telas semiesféricas via a quatro prendedores de papel .....	50
<b>Figura 3.38</b> – Fixação entre as telas semiesféricas via elásticos .....	50
<b>Figura 3.39</b> – Tubo PVC (75 mm) com 50 cm de comprimento .....	51

<b>Figura 3.40</b> – Marcação da posição dos roletes no tubo PVC 75 mm .....	51
<b>Figura 3.41</b> – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete inferior do GVG .....	52
<b>Figura 3.42</b> – Verificando o alinhamento entre os rolamentos via barra rosqueada .....	52
<b>Figura 3.43</b> – Fixando os rolamentos ao tubo PVC 75 mm com massa epóxi ...	52
<b>Figura 3.44</b> – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete superior do GVG .....	53
<b>Figura 3.45</b> – 1ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm .....	53
<b>Figura 3.46</b> – 2ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm .....	54
<b>Figura 3.47</b> – 3ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75mm .....	54
<b>Figura 3.48</b> – Execução dos furos laterais no tubo PVC 75 mm .....	55
<b>Figura 3.49</b> – Marcações das linhas tangenciais aos furos feitos no passo anterior .....	55
<b>Figura 3.50</b> – Execução dos cortes para as aberturas laterais no tubo PVC 75 mm .....	55
<b>Figura 3.51</b> – Acabamento das aberturas laterais .....	56
<b>Figura 3.52</b> – Componentes para a construção do rolete inferior do GVG.....	56
<b>Figura 3.53</b> – Colando a arruela na porca via cola instantânea .....	56
<b>Figura 3.54</b> – Fixação dos componentes do rolete inferior do GVG .....	57
<b>Figura 3.55</b> – Colando uma volta de barbante no ponto médio do rolete inferior do GVG .....	57
<b>Figura 3.56</b> – Envolvendo o rolete inferior do GVG com fita adesiva incolor ....	58
<b>Figura 3.57</b> – Componentes para o encaixe do rolete inferior no tubo PVC 75 mm .....	58
<b>Figura 3.58</b> – Encaixe do rolete inferior do GVG no tubo PVC 75 mm .....	59
<b>Figura 3.59</b> – Fixando a roldana ao eixo do rolete inferior do GVG .....	59

<b>Figura 3.60</b> – Finalizando o encaixe do rolete inferior do GVG ao tubo PVC 75 mm .....	60
<b>Figura 3.61</b> – Componentes para a construção do rolete superior do GVG .....	60
<b>Figura 3.62</b> – Colando os rolamentos nas extremidades do tubo PVC 20 mm ..	60
<b>Figura 3.63</b> – Envolvendo fita isolante no rolete superior do GVG .....	61
<b>Figura 3.64</b> – Colando papel alumínio no rolete superior do GVG .....	61
<b>Figura 3.65</b> – Finalizando o rolete superior do GVG .....	61
<b>Figura 3.66</b> – Encaixando o rolete superior do GVG no tubo PVC 75 mm .....	62
<b>Figura 3.67</b> – Instalação da correia do GVG entre os roletes inferior e superior.....	62
<b>Figura 3.68</b> – Coluna do nosso modelo de GVG .....	63
<b>Figura 3.69</b> – Marcações e execuções dos furos no <i>cap</i> .....	64
<b>Figura 3.70</b> – Marcações para a execução dos furos na forma de pizza .....	64
<b>Figura 3.71</b> – Execução dos furos na forma de pizza .....	65
<b>Figura 3.72</b> – Fixação do <i>cap</i> na forma de pizza .....	65
<b>Figura 3.73</b> – Posicionando o motor do GVG na forma de pizza .....	66
<b>Figura 3.74</b> – Execução dos furos para fixar o motor do GVG na forma de pizza.....	66
<b>Figura 3.75</b> – Prendendo o motor do GVG na forma de pizza .....	67
<b>Figura 3.76</b> – Fazendo a marcação para fixar a chave LIG/DESL na forma de pizza.....	67
<b>Figura 3.77</b> – Execução do corte para fixar a chave margirius na forma de pizza.....	68
<b>Figura 3.78</b> – Esquema elétrico para acionar o motor do GVG via plugue P4 ou bateria 9V.....	68
<b>Figura 3.79</b> – Sugestão para a arrumação da parte elétrica do nosso GVG ....	69
<b>Figura 3.80</b> – Confeção do pino coletor inferior do nosso modelo de GVG ....	70
<b>Figura 3.81</b> – Fixando o pino coletor inferior no centro do <i>cap</i> .....	70
<b>Figura 3.82</b> – Acoplando a roldana do motor à roldana do rolete inferior do GVG.....	71

<b>Figura 3.83</b> – O segundo modelo do nosso GVG .....	71
<b>Figura 4.1</b> – Meu primeiro modelo de GVG, acionado por manivela .....	72
<b>Figura 4.2</b> – Aperfeiçoamento do primeiro modelo de GVG, adicionando um Motor .....	73
<b>Figura 4.3</b> – Apresentação do primeiro modelo de GVG aos vizinhos e amigos .....	73
<b>Figura 4.4</b> – Meu primeiro GVG após ingressar na faculdade .....	74
<b>Figura 4.5</b> – Faixa elástica .....	75
<b>Figura 4.6</b> – Esferas de aço .....	75
<b>Figura 4.7</b> – Lustres semiesféricos feitos de alumínio .....	76
<b>Figura 4.8</b> – Telas protetoras de alimento .....	76
<b>Figura 4.9</b> – Experimento com o GVG: Blindagem eletrostática .....	77
<b>Figura 4.10</b> – Montagem experimental dos componentes .....	78
<b>Figura 4.11</b> – Montagem experimental entre os componentes e o GVG .....	79
<b>Figura 4.12</b> – Visualização das linhas de campo elétrico .....	79
<b>Figura 4.13</b> – DDP entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial .....	80
<b>Figura 4.14</b> – DDP entre dois pontos de duas superfícies equipotenciais.....	80
<b>Figura 5.1</b> – Apresentação do nosso modelo de GVG nas escolas.....	82

## **Lista de símbolos e siglas**

GVG – Gerador de Van de Graaff

DDP – Diferença de Potencial

## Capítulo 1 – Introdução

...the motivation of scientist, professional or amateur, is the sheer joy of knowing. (Vannevar Bush)

Vamos iniciar procurando estabelecer o escopo deste trabalho de dissertação. Acreditamos que esses esclarecimentos iniciais são importantes devido as suas especificidades, algo incomuns, como trabalho acadêmico. Nosso trabalho se define mais claramente como uma contribuição para a Instrumentação para o Ensino de Física. O que se entende por Instrumentação para o Ensino é, por sua vez, bem amplo e precisa ser melhor especificado. Em seu sentido mais geral, e do qual fazemos uso aqui, entendemos como todos os recursos facilitadores do processo de ensino-aprendizado, dos quais o professor deve ter domínio para a construção do seu dia a dia na sala de aula. Entre esses inúmeros recursos estão os equipamentos, os *kits*, e instrumentos para fins didáticos, usados tanto para a realização de experimentos qualitativos como quantitativos.

O presente trabalho tem como característica dominante o fato de ser totalmente devotado a construção de um equipamento didático. Podemos complementar dizendo que o escopo deste trabalho se enquadra mais apropriadamente na seção de Recursos Didáticos da Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) ou, o de Atividades Experimentais no Ensino de Física do Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF). No seu desenvolvimento não procuramos nos ater a uma metodologia de ensino, a um enfoque, em particular.

O que consideramos como básico, em consonância com muitos pesquisadores, pensadores, estudiosos, em Ensino de Ciência, é que o ensino deve explicitar sempre a forma como a Ciência, o Conhecimento, em torno de um determinado problema, é, ou foi, construído. Essa preocupação básica é apresentada de forma muito clara e eficiente por Medeiros e Bezerra Filho (2000) e tomamos a liberdade de reproduzi-la a seguir:

*A importância de uma compreensão da natureza da ciência tem sido destacada por muitos pesquisadores como algo a ser incorporado, explicitamente, nos conteúdos curriculares (Forge,*

1979; Cantor, 1981; Hodson, 1988; Matthews, 1990; Cleminson, 1990; Solomon, 1991; Medeiros, 1992a; Alters, 1997; Medeiros, 1999; Lawson, 1999; para mencionar apenas alguns). Isso tem sido enfatizado inclusive nas recomendações curriculares de vários países, como por exemplo na Inglaterra, e mais recentemente no Brasil, na edição dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Assim, na educação nas ciências, uma compreensão dos modos pelos quais o conhecimento científico tem sido historicamente construído parece ser algo tão importante de ser compreendido quanto os conteúdos em si mesmos (Chapman, 1979). Não bastaria ao estudante dominar o manejo de conteúdos científicos sem ter uma clara ideia dos seus pressupostos e dos seus limites de validade revelados pelo contexto histórico no qual os mesmos tenham sido desenvolvidos (Medeiros, 1999). A ciência não pode ser ensinada como um dogma inquestionável. Um ensino da ciência que não ensine a pensar, a refletir, a criticar, que substitua a busca de explicações convincentes pela fé na palavra do mestre, pode ser tudo menos um verdadeiro ensino da ciência. É antes de mais nada um ensino de obediência cega incorporado numa cultura repressiva (Schatzman, 1973).

Essa preocupação, que nos referimos mais acima como básica, fundamental, eleva naturalmente a importância da Instrumentação para Ensino de Física na medida em que implica na necessidade, permanente, de recursos concretos para apresentar a real dimensão experimental desta ciência. Ensinar física sem a concorrência de experimentos é como ensinar teoria musical sem instrumentos musicais. O 'experimento' não é só pela função didática, mas está no âmago do próprio método científico, ou de como se constrói a Física.

O não privilegiar um enfoque, ou seja, uma metodologia educacional em particular no desenvolvimento deste trabalho, é por considerarmos o fato elementar de que um instrumento didático, tomado isoladamente, não determina a sua forma de utilização. Da mesma forma, um violão pode ser usado tanto para tocar o Capricho Árabe, de Francisco Tarrega, como Garota de Ipanema, com o toque inconfundível de João Gilberto. Como um equipamento didático específico pode ser aplicado de diferentes formas, nós acreditamos que seria



contraproducente vincular a sua construção com um plano de aula particular. Isso, naturalmente, representaria uma limitação. Acreditamos que qualquer professor tem plena sensibilidade para encontrar uma boa utilização para um recurso de instrumentação, qualquer que seja, e para nós seria mais importante dar ênfase a parte prática de construção. Esse ponto em particular nos remete a uma outra preocupação.

O objetivo técnico, prático, desta dissertação é propor a montagem, a partir de materiais acessíveis e de baixo custo, de um gerador eletrostático de Van de Graaff (GVG). Vamos descrever algumas atividades experimentais e relacioná-lo aos conteúdos a serem trabalhados nas aulas de eletrostática.

A preocupação, a que nos referimos acima, tem a ver com o fato conhecido, mas não academicamente quantificado, até onde conseguimos saber, da pouca atenção dada por nossos professores na construção de material didático. Esse problema é de base: há muito pouco treinamento, muito pouca formação técnica voltada para a construção de equipamentos didáticos nos cursos de licenciatura. Na parte de construção de material didático, quando muito, se explora recursos simples que são convencionalmente chamados “experimentos de baixo custo”. Naturalmente, ser de baixo custo não significa ser ineficiente como recurso didático. O que queremos ressaltar é que quando se dá alguma atenção “ao como fazer” um dado material didático, se quer significar, via de regra, “experimento de baixo custo”. É como se qualquer trabalho mais elaborado fosse ‘obviamente inacessível’ ao professor e a nossa escola. Isso não é correto e, gostaríamos de dar como exemplo o trabalho de dissertação de mestrado do professor Hercílio Pereira Cordova (2016) e, assim esperamos, dar este trabalho como um outro exemplo. Achamos que é importante desfazer essa ideia através de exemplos concretos.

O fato de ter escolhido este trabalho, o de construção de um equipamento para ensino, tem relação com a minha formação. Fui criado numa família de artesãos, entre ferramentas e materiais e sempre fui estimulado pelo trabalho manual. Sempre agradei esse legado, particularmente ao meu avô que era um excelente carpinteiro, mecânico e serralheiro. Pode-se argumentar que essa formação, essa condição, seja rara entre professores e que, por isso, temos poucas iniciativas de construção de materiais mais elaborados. Isso é um fato que devemos reconhecer, mas consideramos que isso não é uma limitação.

Existem vários recursos disponíveis para o professor, e para escola, que não necessitam de uma habilitação técnica do professor para a execução de projetos mais elaborados.

Em conversas, ao longo deste trabalho, com o nosso orientador, ficou muito claro a importância das pequenas oficinas de bairro, como oficinas de carpintaria, de mecânica, de serralheria e de manutenção e conserto de equipamentos elétricos e eletrônicos. Devemos lembrar também as oficinas de impressão em 3D que estão criando uma verdadeira revolução no processo de fabricação, ou melhor, impressão de peças, e das oficinas de corte à Laser que permite o corte de chapas de materiais não metálicos de perfis complexos e com alta precisão.

Ficou estabelecido como parâmetro técnico deste trabalho a condição de que a proposta de construção do GVG teria um grau de dificuldade que não poderia ultrapassar o nível de realização técnica de uma oficina de bairro. Se trabalhássemos num projeto muito elaborado tecnicamente, a proposta perderia a sua validade como Instrumentação para o Ensino de Física, pois não ficaria ao alcance de realização de nossos professores. Como ficará claro na continuidade, esse critério foi rigorosamente obedecido.

Todo o trabalho executado na construção do nosso modelo de GVG foi realizado por mim, com recursos ferramentais simples disponíveis em uma oficina de bairro, que vem a ser a oficina de nossa família. O nosso orientador, construiu um segundo modelo, acompanhando passo-a-passo as etapas elaboradas para o projeto, mas seguiu um caminho ligeiramente diferente pois fez uso de uma oficina mecânica próxima de sua residência.

Em seu depoimento, essa pequena oficina de bairro, Oficina de Torno Beira Linha de Teresópolis (RJ), sob a direção do mecânico Dimas Brum, é muito colaborativa e atenciosa. Os técnicos se mostraram muito habilidosos, competentes e amigáveis.

Para uma melhor percepção do contexto social envolvido no trabalho e por uma questão de reconhecimento de sua importância potencial para a instrumentação para o ensino mostramos na Figura 1.1 a oficina do Sr. Dimas em fotos feitas pelo professor Helio. Oficinas como esta, podem ser encontradas em vários bairros e em pequenos municípios brasileiros.



**Figura 1.1** – Oficina de torno Beira Linha de Teresópolis (RJ). Esta oficina dispõe de torno e fresa mecânicos. Uma simples oficina como esta tem um potencial técnico enorme para a realização de projetos educacionais. **Fonte:** O autor.

Para comentar um detalhe de construção que ilustra esses recursos de mercado, uma peça que consiste num rolete de plástico que suporta a cinta que transporta as cargas para o domo esférico em que ficam armazenadas as cargas, tão característico do GVG, foi construída em torno mecânico nesta oficina. A Figura 1.2 mostra essa peça, que pode ser comparada com o rolete por mim construído (ver páginas 53 e 54) que não fez uso de um torno, sendo assim uma solução mais simples e mais manual. Entretanto, devemos reconhecer que a peça construída no torno é muito mais eficiente e simples, sendo construída em poucos minutos e a um custo irrisório. Essas



**Figura 1.2** – Roletes da correia transportadora de carga. Fabricadas em plástico PVC em um torno. **Fonte:** O autor.

soluções estão ao alcance do professor nas oficinas de bairro.

Poderíamos perguntar se temos um limite bem definido sobre o que podemos fazer em instrumentação para o ensino se alargamos a base de produção de forma a incluir as oficinas de bairro. Na minha opinião, e do meu orientador, esse limite é indefinido. Um testemunho muito claro a favor dessa opinião pode ser dado através do trabalho do engenheiro elétrico norte-americano C. L. Stong que foi editor, durante mais de vinte anos, da coluna “*The Amateur Scientist*” da revista *Scientific American*, e que tem uma versão em português como *Scientific American Brasil*. Essa coluna foi editada por 72 anos consecutivos e, infelizmente, foi encerrada em 2001 (ver Wikipedia). Stong foi responsável por projetos impressionante e em diversas áreas da Ciência. Basta citar um exemplo famoso em que ensinava, numa edição de 1964, a construção de um laser a gás (Stong, 1964). Em artigos subsequentes detalhou e aperfeiçoou o projeto inicial (Stong, 1965, 1965(a), 1969, 1970). Seu público-alvo era o *persevering amateur* (o amador perseverante!), mas antes de tudo, o amador. Uma compilação de projetos de sua autoria foi editada como livro em 1965 (Stong, 1965(a)) e pode ser obtida em formato PDF na internet (<https://archive.org/details/TheAmateurScientist>). Recomendamos fortemente a sua leitura. Esse projeto do Laser à gás foi adaptado e realizado por alunos de uma escola de nível médio na Califórnia (EUA) em 1971 (Levatter e Stong, 1971). Esse, e vários outros projetos do mesmo autor, são muito elaborados tecnicamente e não poderiam ser construídos sem o apoio de pessoas habilitadas nas áreas técnicas correspondentes, mas compreendemos também que o nível técnico necessário é aquele que encontramos em oficinas de bairro. Vemos assim que, se aliamos o professor “amador perseverante” e a oficina de bairro podemos realizar projetos de instrumentação muito elaborados.

Temos também observado nesses últimos anos o surgimento de projetos educacionais que procuram envolver os alunos em atividades de elaboração e construção de materiais, na própria escola. São propostas envolvendo o ensino assistido por projetos, onde desafios científicos e tecnológicos são propostos a grupos de alunos visando resolver problemas os mais diversos, desde o cotidiano até as fronteiras da ciência, no melhor estilo “faça você mesmo”. É o nascimento da assim chamada “escola *maker*”. Por ser um movimento novo, há pouca referência de estudos acadêmicos no Brasil. Uma referência interessante

é o trabalho de Raab e Gomes (2018) que apresenta as tendências desse movimento e discute o *laboratório Maker* como sucedâneo do laboratório tradicional. Várias fontes de informação estão disponíveis na internet e fazemos a indicação de algumas dessas fontes na seção *movimento maker* da seção de referências. Essa tendência, que começa a tomar forma, aponta para novas possibilidades que consistem na integração de alunos na construção de equipamentos intermediado por oficinas das próprias escolas, os *laboratórios Maker*.

Devemos comentar, também, que este trabalho não teve o objetivo de avaliar aspectos cognitivos (psicologia cognitivista) e aspectos psicológicos da eficácia do GVG como recurso didático, porque entendemos que isso teria que ser conduzido com o apoio de especialistas nessa área, o que está, por suposto, fora de nosso alcance. Quanto aos aspectos psicológicos envolvidos no processo ensino-aprendizagem, não devem ser subestimados e não devemos esquecer a premissa de Novak (1996) de que o ser humano, além de pensar e agir, também sente. Um aspecto que podemos ressaltar é que, após muitas apresentações do GVG, em diferentes contextos sociais, sempre constatamos um grande interesse, podemos dizer mesmo, um certo fascínio, por este “aparelho” e pelos fenômenos elétricos associados. Isto é observado entre público jovem e adulto. Podemos mostrar a manifestação de cargas elétricas eletrificando um pente de plástico, atritando com um pano, e atraindo umas tirinhas de papel, mas isso não se compara com ligar o GVG e ver uma cabeleira eriçada por repulsão eletrostática! O impacto é, neste caso, muito maior. O GVG tem uma especial aptidão para experimentos qualitativos, para demonstrações, em eletrostática, mas tem também uma inegável aptidão motivacional.

Para concluir a descrição do escopo desta dissertação podemos fazer um pequeno resumo dos principais aspectos, divididos em três itens:

- ❖ O trabalho é dedicado a construção de um equipamento para fins educacionais, ou, em outros termos, a produção de recursos didáticos.
- ❖ Procuramos construir um gerador de cargas eletrostática tipo Van de Graaff a partir de materiais de fácil aquisição. Procuramos através de pesquisas no mercado adaptar peças e utensílios comuns em substituição

a itens tradicionais empregados na construção dos equipamentos similares comerciais. O projeto considerou como uma característica fundamental a portabilidade, isto é, o GVG teria que ser facilmente transportado pelo professor. Na revisão bibliográfica em revistas acadêmicas nacionais não encontramos propostas de construção do GVG para fins educacionais. Uma referência particularmente útil foi a descrição de um projeto de GVG desenvolvido por Stong (1965(a)) e apresentado em seu livro *Amateur Scientist* (pag. 487 – 499). Alguns trabalhos de autores de língua portuguesa podem ser encontrados na internet. Na seção de apêndices citamos alguns endereços. São poucos as páginas contendo material adequado para a utilização efetiva em sala de aula.

- ❖ Como trabalho de desenvolvimento de equipamento didático, as aplicações em sala de aula foram feitas sob a forma de demonstrações e ilustrações. Não fizemos uso de um instrumento de avaliação específico sobre o aproveitamento dos alunos e nos limitamos a observar as reações e seus comentários. Como apresentaremos nos próximos capítulos, diferentes modelos de GVG foram construídos por mim e apresentados em diferentes contextos e em diferentes turmas de Ensino Médio, sempre com um resultado muito positivo quanto a participação e quanto ao despertar do interesse sobre os fenômenos eletrostáticos.

Para concluir essa, já extensa, introdução, gostaria de fazer alguns comentários finais, e pessoais, que tem a ver com motivação e com a citação em epigrafe no início deste capítulo, atribuída a Vannevar Bush, um influente cientista americano (Cruz, 2011), “a motivação do cientista, profissional ou amador, é a pura alegria de conhecer” (tradução livre).

O sentido da palavra motivar pode ser apreciado por sua origem etimológica. Tem origem no verbo latino *movere*, mover, originando a expressão semântica, motivo. Portanto o motivo, ou a motivação é a bagagem necessária para que se promova uma ação com entusiasmo e eficácia, possibilitando a relação entre o assunto e o sujeito, refletindo na aprendizagem. Concordamos com Vannevar Bush que o que “move” é a alegria que brota do “conhecer”! Conhecer algo de nosso mundo é revelar o que está na sua causa, e isso nos

lembra o que disse Albert Einstein quando confidenciou que uma das coisas mais maravilhosas e impressionantes para ele é o fato de o Universo ser inteligível. Podemos conhecê-lo através de uma linguagem racional.

O ensino é uma construção complexa. A mediação da escola, às vezes, não favorece à aprendizagem, pois quando a Ciência é apresentada de maneira abstrata, desconectada do contato concreto com o fenômeno, sem uma estimulação intelectual, causa um afastamento, uma repulsão, e até mesmo uma aversão. A aversão é a 'reação' natural à uma 'ação' de ensino mal concebida. A aversão se opõe a 'alegria em conhecer'. Aqui compreendemos, com a ajuda da nossa prática de ensino, que quanto mais o aluno aprende, quanto mais o aluno conhece, quanto mais satisfação tem em conhecer, em provar a alegria espontânea de compreender as coisas, mais vontade em aprender se faz presente. A aprendizagem torna-se uma realização viciante! Conforme reforça Nogueira (2001, p.36),

"Dentre os vários problemas emergentes das dificuldades de aprendizagem relativas, sem dúvida a motivação é o fator que maior merece destaque e estudo, pois como mencionada por Piaget, esta é intrínseca, portanto exige um sujeito ativo ao meio e a ação".

No ensino e aprendizagem, as mudanças envolvendo currículo, metodologia e materiais didáticos, não foram suficientes para alçar a educação nacional em um padrão eficaz que gerasse um aprendizado condizente com os próprios anseios dos estudantes. Com a finalidade de minimizar esses problemas no ensino da Eletrostática, ou dito de outra forma, com a finalidade de instrumentalizar o ensino da Eletrostática, vimos a enorme importância de se dispor de um *Gerador Eletrostático*. A produção de cargas eletrostática em abundância é um enorme facilitador para realização de inúmeros experimentos simples. O gerador eletrostático é por si mesmo muito cativante, atraindo a concentração dos alunos, desenvolvendo o aprendizado de forma prazerosa, permitindo além disso que o professor tenha sucesso na mediação dos conteúdos, por estar inserindo a prática na constituição dos conceitos físicos, por meio da experimentação. Dessa forma, o docente proporcionará a aprendizagem

dando destaque entre a teoria e a prática, despertando no estudante o ânimo como elemento fundamental na construção do ensino aprendizagem.

Em síntese, o presente trabalho, em sua proposta mais geral, é contribuir para melhor adequar os conteúdos da Eletrostática, fazendo com que a desmotivação e o desinteresse sejam substituídos por participação e assimilação. O trabalho pretende mostrar o gerador de cargas eletrostática de Van de Graaff como um instrumento didático, que promove um aprendizado efetivo, contribuindo para uma nova perspectiva no ensino dos conteúdos da eletrostática. Devemos especificar, dentro da dimensão acadêmica, que este trabalho de dissertação é uma contribuição à produção de material didático para a sala de aula.

A dissertação foi organizada em cinco capítulos, contemplando a importância da história, as dificuldades e a construção do GVG, discorrendo da seguinte forma:

- ✓ O capítulo 2 faz uma abordagem do gerador eletrostático, onde apresentamos alguns fatos históricos, aplicações e do princípio de funcionamento do gerador. Neste capítulo abordaremos também, algumas motivações para a construção, pelo professor, do nosso GVG.
- ✓ No capítulo 3 aborda-se a descrição dos componentes e montagem do nosso modelo de GVG. Nesta parte, é importante comentar, apresentamos tão somente o projeto final, procurando evitar um detalhamento dos inúmeros erros cometidos. Esse detalhamento poderia ter algum interesse técnico e informativo.
- ✓ No capítulo 4 apresentaremos alguns projetos anteriores do GVG, as dificuldades encontradas e algumas propostas experimentais para auxiliar o professor nas aulas de eletrostática.
- ✓ No capítulo 5 apresentaremos as nossas considerações finais.
- ✓ Já nos anexos temos a patente original de Robert J. Van de Graaff (anexo I) e o orçamento de um GVG industrial (anexo II). Nos apêndices, teremos algumas propostas de aplicações do GVG em sala de aula (apêndice A) e algumas referências sobre a cultura *Maker* e outros projetos de construção do GVG (apêndices B e C, respectivamente). O material instrucional produzido na dissertação encontra-se destacado no apêndice D para facilitar o seu uso pelo professor.



## Capítulo 2 – O Gerador Eletrostático de Van de Graaff (GVG)

### 2.1 - A História do Gerador de Van de Graaff

O gerador de Van de Graaff foi inventado e construído (1931) por ROBERT JEMISON VAN DE GRAAFF(1901-1967), físico e engenheiro norte-americano (ver figura 2.1), nascido no estado do Alabama, EUA. Descendente de holandeses, Robert estudou em escola pública e na Universidade do Alabama, onde recebeu o título de Bacharel, em 1922, e Mestre, em 1923. Ambos em engenharia mecânica.



**Figura 2.1** – Foto de Robert Jemison Van de Graaff. **Fonte:** <http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/vandegraaff.ht>

Depois de graduado na universidade, ele trabalhou, durante um ano, para a Alabama Power Company, como assistente de pesquisa. Estudou em Paris, entre 1924 e 1925, onde participou de conferências de Marie Curie sobre radiação. Em 1925, entrou na Universidade de Oxford, na Inglaterra, como bolsista. Em Oxford, recebeu o título de Bacharel em Física, em 1926, e o de Doutor, também em Física, em 1928.

Enquanto estava em Oxford tornou-se um entusiasta dos experimentos relacionados à física nuclear, assim como Ernest Rutherford, que acreditava que

as partículas poderiam ser aceleradas a velocidades suficientemente grandes para que o núcleo atômico se desintegrasse. Através da desintegração dos núcleos atômicos, muito pôde ser descoberto a respeito da natureza individual dos átomos. Devido a isso, Robert via um acelerador de partículas como algo importante.

Em 1929, Van de Graaff retornou aos Estados Unidos para participar do Laboratório de Física Palmer na Universidade de Princeton. No fim do ano ele construiu o primeiro modelo de gerador eletrostático onde alcançou 80.000 volts, o qual ficou também conhecido como gerador de Van de Graaff. Melhoras foram feitas ao modelo primário em novembro de 1931, para um jantar inaugural do Instituto Americano de Física. Durante a demonstração do aparelho foi alcançado 1.000.000 de volts!

Robert, então, começou a utilizar o seu gerador na Física nuclear como acelerador de partículas. Para esse fim, os geradores são de grande porte podendo chegar a 13 metros de altura e com esfera metálica de 4,5 metros de diâmetro, como ilustra a figura 2.2.



**Figura 2.2** – GVG construído por Robert Jemison Van de Graaff. **Fonte:** <http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/vandegraaff.html>

No ensino de ciências, esse gerador tem, em geral, alguns decímetros de altura. Tivemos a oportunidade de localizar o documento que formalizou a patente original de Van de Graaff sobre o seu gerador eletrostático. Devido ao seu interesse histórico estamos anexando a está dissertação como anexo I.

## 2.2 Componentes, Princípio de funcionamento do GVG e Processos de eletrização

O gerador básico com excitação por atrito é composto por uma correia de material isolante, dois roletes, uma esfera metálica, um motor, dois pinos coletores ou pentes metálicos e uma coluna de apoio (figura 2.3). Os materiais mais usados para a coluna de apoio são o acrílico ou o PVC. Os roletes são de materiais diferentes, ao menos um deles condutor (como teflon e alumínio), para que se eletrizem de forma diferente devido ao atrito de rolamento com a correia.

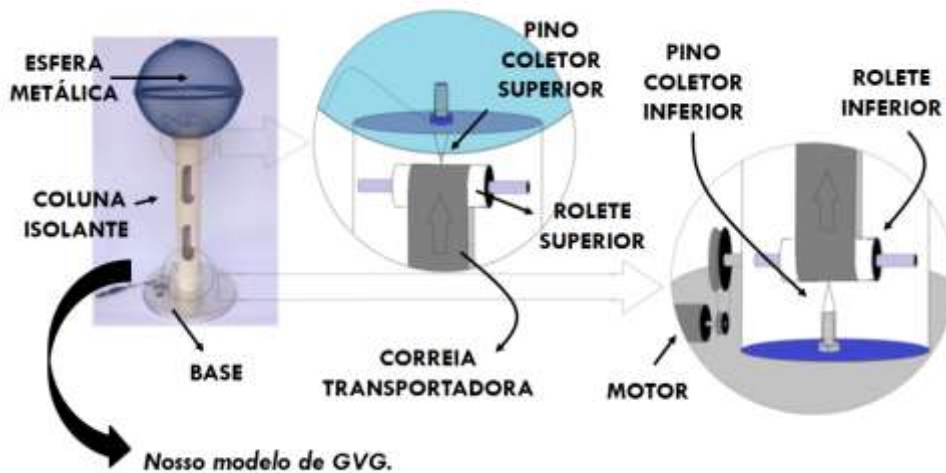


Figura 2.3 – Componentes do GVG. Fonte: O autor.

Geradores profissionais utilizam sistemas eletrônicos, para depositar carga na correia, eliminando assim as instabilidades de desempenho causadas pela excitação por atrito e permitindo regulação precisa da tensão obtida.

Em nosso modelo de gerador, o funcionamento se dará da seguinte forma:

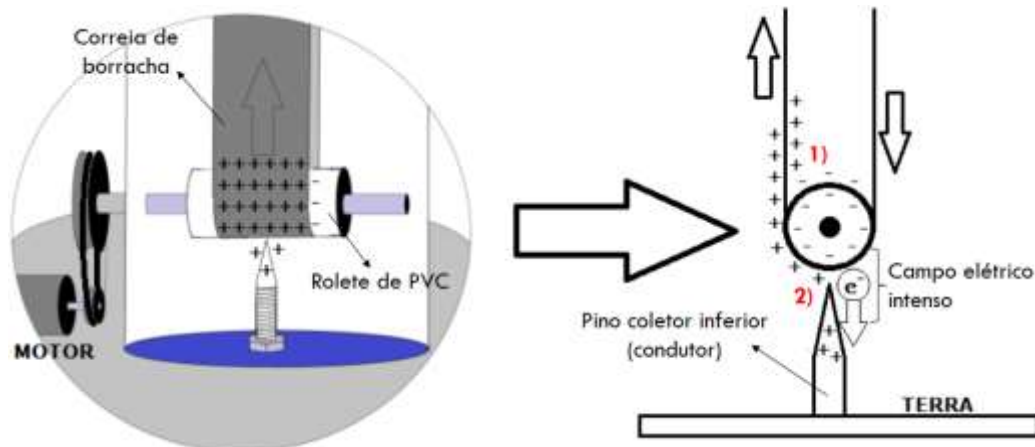
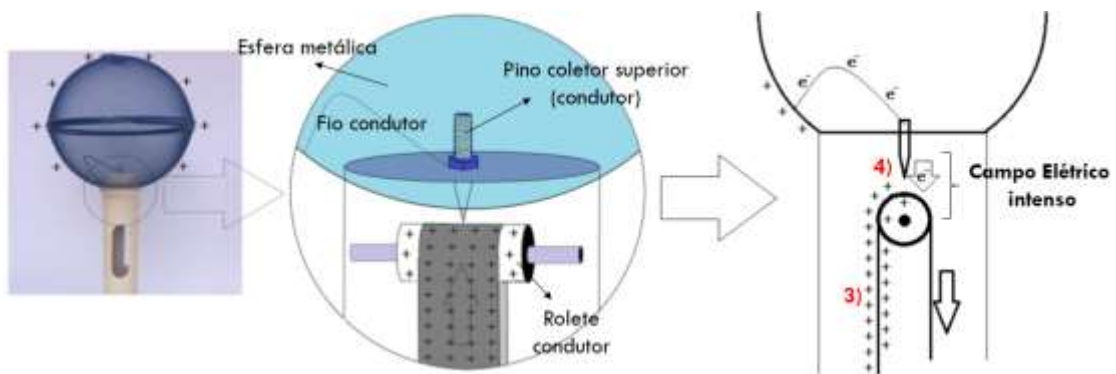


Figura 2.4 – Esquema 1 e 2 de funcionamento do GVG. Fonte: O autor.

- 1) Ao acionar o motor, o rolete inferior entra em rotação, movendo também a correia transportadora; ambos se eletrizam (com cargas de sinais opostos) devido ao forte contato (efeito triboelétrico) entre o rolete e a correia (ver figura 2.4).
- 2) As cargas negativas na superfície do rolete repelem as cargas negativas do pino coletor inferior, obtendo assim um intenso campo elétrico; com isso o ar se torna condutor e elétrons são “expulsos” da parte externa da correia, deixando-a completamente positiva (ver figura 2.4).



**Figura 2.5** – Esquema 3 e 4 de funcionamento do GVG. **Fonte:** O autor

- 3) As cargas positivas, que se aderiram à correia na parte inferior do gerador, chegam à parte superior pelo movimento da correia (ver figura 2.5).
- 4) Com a presença da carga positiva, o campo elétrico entre o pino coletor superior e a correia se intensifica e elétrons fluem, através de um fio, da esfera para a correia; neutralizando-a. O processo se repete e a carga positiva na esfera vai se intensificando (ver figura 2.5).

Vale apenas destacar, que o princípio do funcionamento do Gerador de Van de Graaff é norteado pelos processos de eletrização:

- Eletrização por atrito;
- Eletrização por contato;
- Eletrização por indução.

Os materiais condutores apresentam certa facilidade na movimentação de elétrons, enquanto nos materiais isolantes esse movimento de elétrons é dificultado pela forte ligação desses elétrons com seu núcleo.

No entanto, para obter-se uma eletrização por atrito eficaz, é necessário que se escolha materiais cujos seus elementos sejam capazes de estabelecer as ligações químicas. Esse fenômeno ocorre devido à existência de átomos que possuem a facilidade de perder elétrons e átomos que têm a facilidade de ganhar elétrons.

No intuito de facilitar a escolha desses materiais, foi criada uma lista de substâncias na qual se mostra a facilidade desses materiais de ganharem ou cederem elétrons. Isto é o que foi chamada de *série triboelétrica*, como ilustra a figura 2.6.

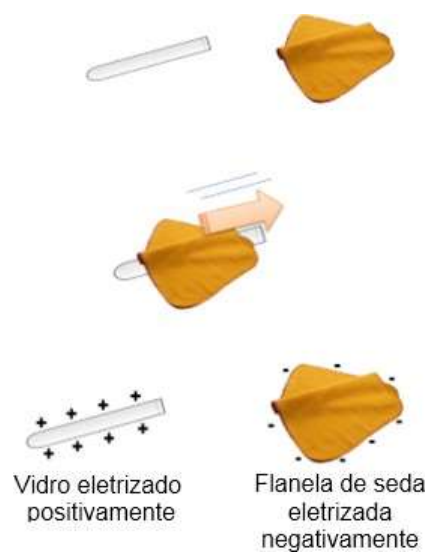


**Figura 2.6** – Série triboelétrica. **Fonte:**

<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/serie-triboeletrica.html>

Com base nesta série, qualquer material atritado com um outro material que esteja posicionado abaixo deste, ficará eletrizado negativamente e, quando atritado com um material que esteja acima, ficará eletrizado positivamente.

Na eletrização por atrito são necessários ter-se dois corpos inicialmente neutros e de materiais diferentes, como por exemplo, um bastão de vidro e uma flanela de seda, sendo atritados entre si. Devido a esse processo começa a haver uma transferência de elétrons de um corpo para outro. Segundo a série triboelétrica, o bastão de vidro tem uma tendência de perder elétrons, enquanto a flanela de seda, tem uma tendência de ganhar elétrons. Essa eletrização é citada por vários autores, dentre eles Bonjorno (2005, p.463), referência que ao final desse processo: “(...) os dois corpos ficam carregados com cargas de mesmo módulo, porém de sinais contrários”, conforme ilustrado pela figura 2.7 a seguir.

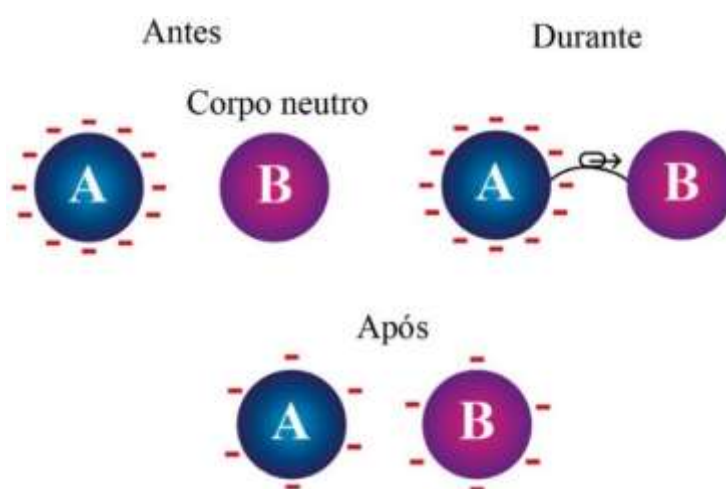


**Figura 2.7** – Representação do processo de eletrização por atrito. **Fonte:** Adaptado do livro de Bonjorno (2005)

Para o nosso GVG, os materiais que envolvem os roletes inferior e superior foram pensados e utilizados com base nessa tabela. Para o rolete inferior utilizaremos o polietileno (fita adesiva) e para o superior alumínio. Sabendo que, geralmente, a correia do GVG é feita de borracha / látex, a tabela triboelétrica nos informa que a borracha fica na posição mediana entre o polietileno e o alumínio. Assim, enquanto no rolete inferior, a correia do GVG tem uma tendência em perder elétrons, no rolete superior terá uma tendência em ganhar elétrons; esse fato aumentará a eficiência do processo de eletrização da esfera do nosso GVG; já que nesse processo ocorre o princípio da conservação

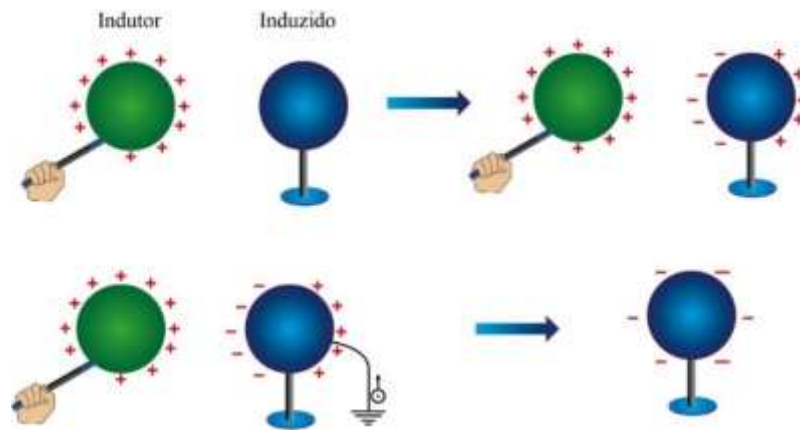
das cargas: a mesma quantidade de elétrons que são arrancados da esfera, irão fluir, através do movimento correia, para o rolete inferior.

No processo de eletrização por contato, faz-se necessário ter-se, por exemplo, um corpo carregado negativamente e outro neutro. Quando ocorre o contato do corpo eletrizado com o corpo neutro, há uma transferência de elétrons de um corpo para outro até que atinja o equilíbrio eletrostático. Esse processo é citado em várias obras literárias, dentre elas, Bonjorno (2005, p.464) cita que: “(...) os corpos ficam eletrizados com cargas de mesmo sinal”, conforme identificado a seguir.



**Figura 2.8** – Representação do processo de eletrização por contato.  
**Fonte:** Adaptado do livro de Guimarães, Piqueira e Carron (2013)

Já no processo de indução, considera-se um corpo eletrizado positivamente, que chamaremos de indutor e outro eletricamente neutro, que denominaremos de induzido. Ao aproximar o indutor do induzido, ocorrerá de acordo com o princípio da eletrostática, a separação das cargas e uma redistribuição das mesmas no induzido, ficando as cargas de sinais contrários, umas próximas das outras. Em seguida, na presença do indutor, ligaremos o induzido a terra. Com isso, haverá uma transferência de elétrons da terra para o induzido. Por fim, ainda na presença do indutor, cortaremos a ligação do induzido com a terra e, com isso, essas cargas irão se redistribuir ao longo da superfície. Essa eletrização também é citada por Bonjorno (2005, p.465): “(...) O corpo induzido se eletrizará com cargas de sinais contrários às do indutor” como mostrado na figura 2.9 seguinte.



**Figura 2.9** – Representação do processo de eletrização por indução.  
**Fonte:** Adaptado do livro de Júnior, Ferraro e Soares (1999)

## 2.3 Algumas Motivações para a construção, pelo professor, do nosso modelo de gerador de van de Graaff

### 2.3.1 PREÇO

Criar um gerador eletrostático que conseguisse juntar a praticidade dos conteúdos da eletrostática à eficiência no ensino aprendizagem, foi a razão propulsora em desenvolver a presente pesquisa, fazendo com que o gerador eletrostático, construído com material de baixo custo, possa ser eficaz na mediação dos conceitos da eletrostática.

A dissertação ressalta que o experimento é de baixo custo, por utilizar materiais alternativos. Essa comprovação pode ser constatada analisando a cotação (Anexo II), onde a proposta de aquisição de um gerador eletrostático de Van Graaff é estimada no valor de R\$ 6.987,20. Comparando essa proposta com o produto educacional que sua construção e montagem custou o equivalente a R\$ 184,55, pode-se afirmar, matematicamente, que o produto é de baixo custo por representar 2,64% do gerador industrializado.

### 2.3.2 VIABILIDADE PARA EXPERIMENTAÇÕES NAS AULAS

Ao trabalhar os conteúdos de física, enfrenta-se uma série de obstáculos para ministrar aulas experimentais, tais como: ausência de um espaço propício para desenvolver as atividades experimentais e falta de recurso financeiro para aquisição de equipamentos que promovam os atos experimentais. Assim, fica-se preso ao único recurso pedagógico que é o livro didático, aplicando apenas a teoria. No Rio de Janeiro, como no restante do



país, a situação é similar, faltam laboratórios, ou seja, espaços pedagógicos destinados às atividades específicas.

No entanto, pensando em contribuir com o ensino, a proposta desta dissertação é construir um gerador eletrostático, leve, portátil e de fácil transporte, para que, na sala de aula mesmo, o professor possa realizar uma série de experimentos que possam comprovar o fenômeno físico que está sendo ensinado. No apêndice A, ilustramos alguns experimentos simples que comprovam que com a presença do GVG em aula é possível contornar todos os obstáculos mencionados acima.

### **2.3.3 POSSIBILIDADE DE USO DO GVG EM LOCAIS SEM ENERGIA ELÉTRICA**

O Censo Escolar 2017 trouxe dados preocupantes: **8.154 escolas públicas brasileiras não têm energia elétrica via rede pública**. São realidades frequentes no país e praticamente estáveis a cada levantamento realizado. Pensando nessas escolas, o nosso modelo de GVG, além de operar através ligado na tomada, pode funcionar com uma bateria 9V dispensando a energia elétrica oriundas de concessionárias; assim, certamente atenderemos praticamente todos os públicos de docentes desse país.

## Capítulo 3 – Processo de Montagem do GVG

Nesta seção iremos apresentar os procedimentos para a montagem do gerador e também descrever os seus componentes.

### 3.1 Materiais

Neste tópico lista-se todos os materiais necessários para a montagem do nosso gerador.

- 2 TELAS PROTETORAS PARA ALIMENTO FEITA DE MATERIAL CONDUTOR;
- 1 FAIXA ELÁSTICA PARA EXERCÍCIOS FISIOTERÁPICOS;
- 50 CM DE CANO PVC 75;
- 2 CAP<sup>s</sup> DE TUBO PVC 75;
- 1 FORMA DE PIZZA COM 30 CM DE DIÂMETRO;
- 1 ROLDANA PLÁSTICA PARA VARAL 4 CM DE DIÂMETRO;
- 4 ROLAMENTOS 607;
- 4 PARAFUSOS FENDA LIMÃO 1/4 x 1/2;
- 20 PORCAS SEXTAVADA DE 1/4;
- 4 ARRUELAS PARA PARAFUSOS DE 1/4;
- 1 BARRA ROSQUEADA DE 1/4;
- 1 MOTOR DE IMPRESSORA 12VOLTS;
- 50 CM DE FIO PARALELO 1MM;
- 1 CHAVE MARGIRIUS;
- 1 PEDAÇO DE PAPEL ALUMÍNIO (4CM x 8CM);
- 1 CHIP PARA BATERIA 9VOLTS;
- 1 PLUG P4 PARAFUSO;

- 1 FONTE (12V – 1A) CHAVEADA;
- 2 PEDAÇOS DE 5 CM DO TUBO PVC 20;
- 1 PEDAÇO DE BARBANTE;
- 1 ELÁSTICO.

### 3.2 Descrição dos materiais

Após a escolha dos materiais para a montagem do gerador, faz-se necessário a descrição de alguns materiais.

#### TELA PROTETORA PARA ALIMENTOS:

A ideia dessas duas telas é formar uma esfera metálica que irá se acoplar na estrutura do gerador. Depois de muitas pesquisas, onde foi levado em consideração peso, tamanho e preço, a tela protetora para alimentos (ver figura 3.1) é a mais indicada por ser de fácil aquisição.



**Figura 3.1** – Tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Encontrada em lojas de utilidades para a casa, essa tela é vendida em variados tamanhos e cores. Para o nosso gerador usamos a da cor azul e com 30 cm de diâmetro. Um outro benefício em utilizar essa tela é que o GVG terá uma esfera transparente o que permitirá a realização e visualização de experimentos no interior dela.

- A FAIXA ELÁSTICA PARA EXERCÍCIOS FISIOTERÁPICOS:

Para o nosso gerador, a correia transportadora de carga elétrica será uma faixa elástica (ver figura 3.2), aquelas adquiridas em lojas de materiais hospitalares e utilizadas como exercícios fisioterápicos ou ortopédicos. A escolha correta desse componente é de extrema importância para o funcionamento do GVG, pois existem materiais, como por exemplo câmeras de ar usadas em pneus, que apresentam dificuldades na geração de cargas.



**Figura 3.2** – Faixa elástica. **Fonte:** O Autor.

Essa faixa elástica é vendida a metro, nós compramos 1m e vamos cortá-la para se adequar ao nosso gerador. A sobra poderá ser utilizada posteriormente quando o pedaço utilizado estiver desgastado ou ressecado.

- CANO PVC 75:

Por ser isolante, barato e de fácil alcance, 50 cm de cano de esgoto (ver figura 3.3), feito de PVC e com 75 mm de diâmetro, foi escolhido para compor o tronco ou coluna do nosso GVG.



**Figura 3.3** – Parte de um cano PVC (75 mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- CAP DE TUBO PVC 75:

As tampas, ou conhecido comercialmente por cap (ver figura 3.4), do cano pvc de 75 mm de diâmetro, servirão como elementos de fixação, por meio de encaixe, entre a coluna do GVG e a base e também entre a esfera metálica do GVG e a coluna.



**Figura 3.4** – Cap do tubo PVC (75 mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- FORMA DE PIZZA COM 30 CM DE DIÂMETRO:

A forma de pizza (ver figura 3.5) será a base do nosso GVG. Por ser condutora ela dará um ótimo aterramento para o nosso gerador.



**Figura 3.5** – Forma de pizza feita de alumínio. **Fonte:** O Autor.

- ROLDANA PLÁSTICA PARA VARAL 4 CM DE DIÂMETRO:

Existe uma roldana plástica com 4 cm de diâmetro que encontramos facilmente em lojas cuja especialidade são parafusos (ver figura 3.6). A roldana em questão será usada em nosso gerador para gerar tração entre o motor elétrico e o rolete inferior.



**Figura 3.6** – Roldana Plástica para varal. **Fonte:** O Autor.

- ROLAMENTOS 607:

Os rolamentos irão dar suavidade e silêncio aos roletes durante o funcionamento do GVG. Iremos utilizar 4 rolamentos 607 (ver figura 3.7), que também são encontrados em lojas especializadas. As medidas desses rolamentos são 19 mm para o diâmetro externo, 7 mm para o diâmetro interno e 6 mm de espessura; com essas dimensões, eles irão se encaixar perfeitamente nos tubos de PVC de 20 cm de diâmetro onde irão formar os roletes do GVG.



**Figura 3.7** – Rolamentos 607. **Fonte:** O Autor.

- PARAFUSOS FENDA LIMÃO 1/4 x 1/2:



**Figura 3.8** – Parafusos fenda limão. **Fonte:** O Autor.

- PORCAS SEXTAVADA DE 1/4:



**Figura 3.9** – Porcas sextavadas. **Fonte:** O Autor.

- ARRUELAS PARA PARAFUSOS DE 1/4:



**Figura 3.10** – Arruelas. **Fonte:** O Autor.

- BARRA ROSQUEADA DE 1/4:



**Figura 3.11** – Barra rosqueada. **Fonte:** O Autor.

- MOTOR DE IMPRESSORA 12VOLTS:

O motor (ver figura 3.12) será o coração do GVG. Ele será responsável em pôr a correia para girar fazendo com que ocorra o processo de eletrização do gerador. Este motorzinho é facilmente adquirido em diversos sites da internet.



**Figura 3.12** – Motor de impressora. **Fonte:** O Autor.

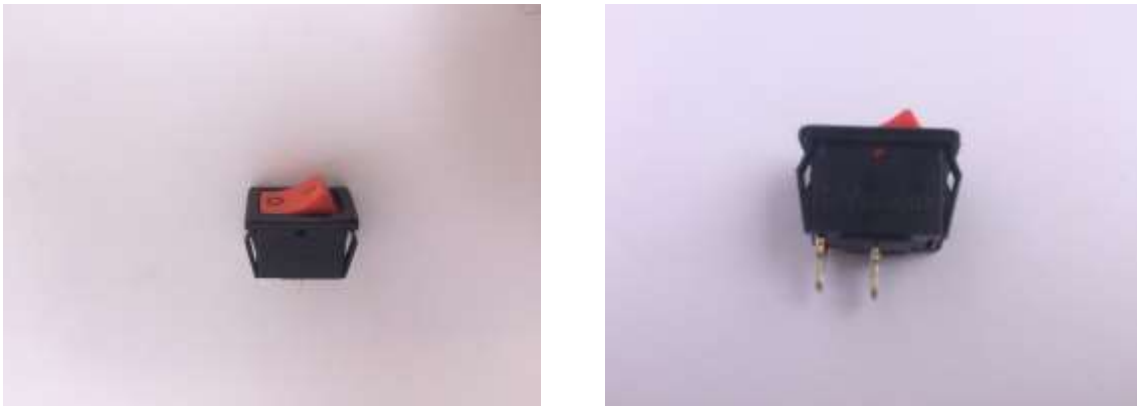
- FIO PARALELO 1MM:



**Figura 3.13** – Fio paralelo. **Fonte:** O Autor.



- CHAVE MARGIRIUS:



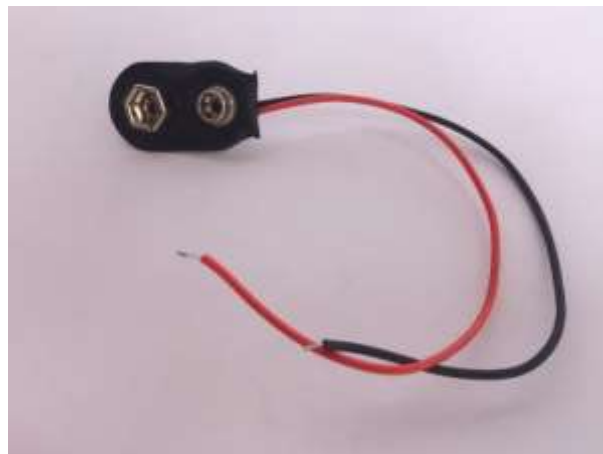
**Figura 3.14** – Chave margirius. **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇO DE PAPEL ALUMÍNIO (4CM x 8CM):



**Figura 3.15** – Pedaco de papel alumínio. **Fonte:** O Autor.

- CHIP PARA BATERIA 9VOLTS:



**Figura 3.16** – Chip para bateria. **Fonte:** O Autor.

- PLUG P4 PARAFUSO:



**Figura 3.17** – Plug P4 parafuso. **Fonte:** O Autor.

- FONTE (12V – 1A) CHAVEADA:



**Figura 3.18** – Fonte 12V-1A. **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇOS DE 5 CM DO TUBO PVC 20:

Esses dois pedaços (ver figura3.19) do tubo PVC de 20mm de diâmetro serão os roletes do GVG.



**Figura 3.19** – Pedaços de tubo PVC (20mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇO DE BARBANTE:



**Figura 3.20** – Barbante. **Fonte:** O Autor.

- ELÁSTICO:



**Figura 3.21** – Elástico. **Fonte:** O Autor.

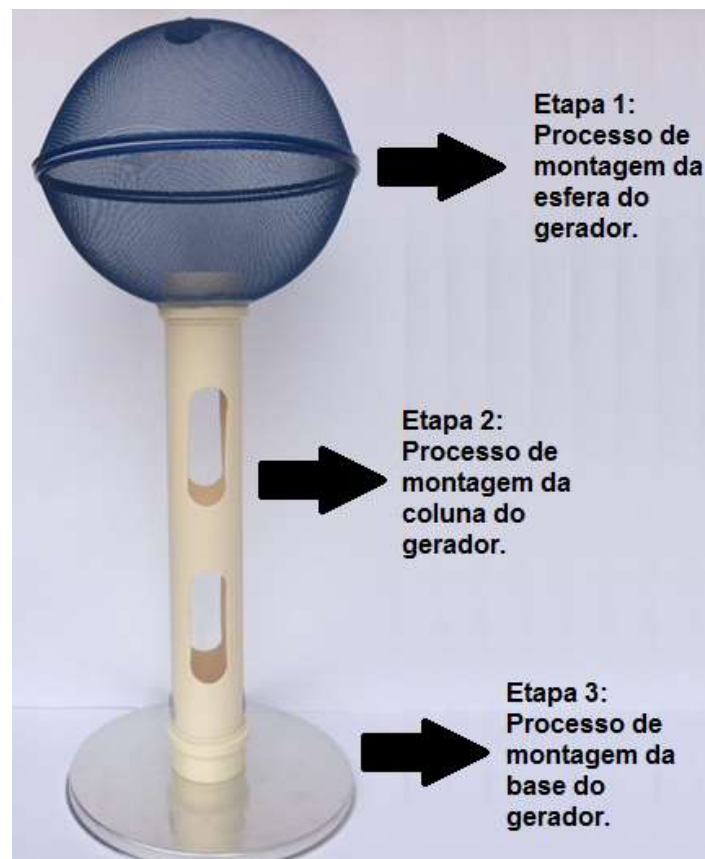
### **3.3 Procedimento de montagem do GVG**

Para o processo de construção do GVG, é importante ter ao alcance algumas ferramentas elétricas e manuais; tais como:

- Furadeira
- Serra tico-tico
- Serra manual

- Serra copo
- Alicates
- Chave de fenda
- Martelo
- Régua de silicone
- Cola instantânea
- Massa epóxi
- Fita adesiva incolor
- Ferro de Solda para eletrônica

A descrição do processo de montagem se dará em três etapas, como ilustrado na figura 3.22.

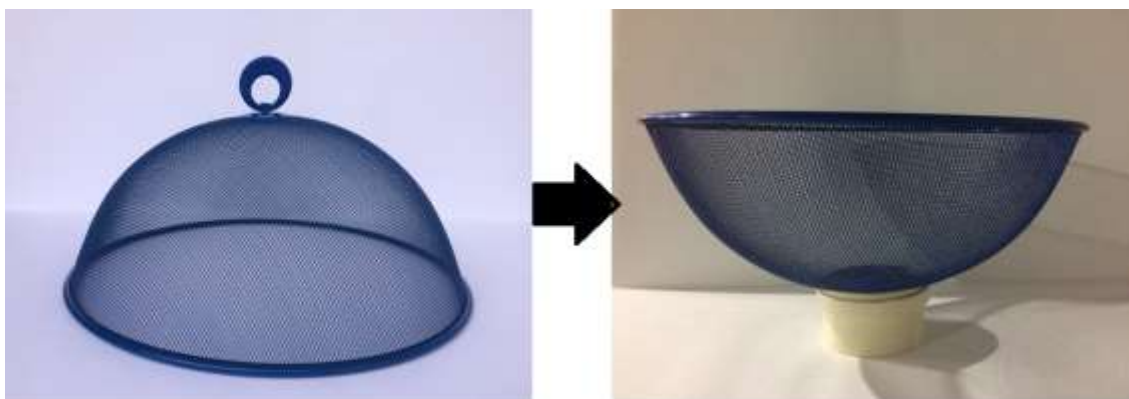


**Figura 3.22** – O nosso modelo de GVG dividido pelas etapas de construção. **Fonte:** O Autor.

Sendo assim, daremos início ao processo de construção do GVG:

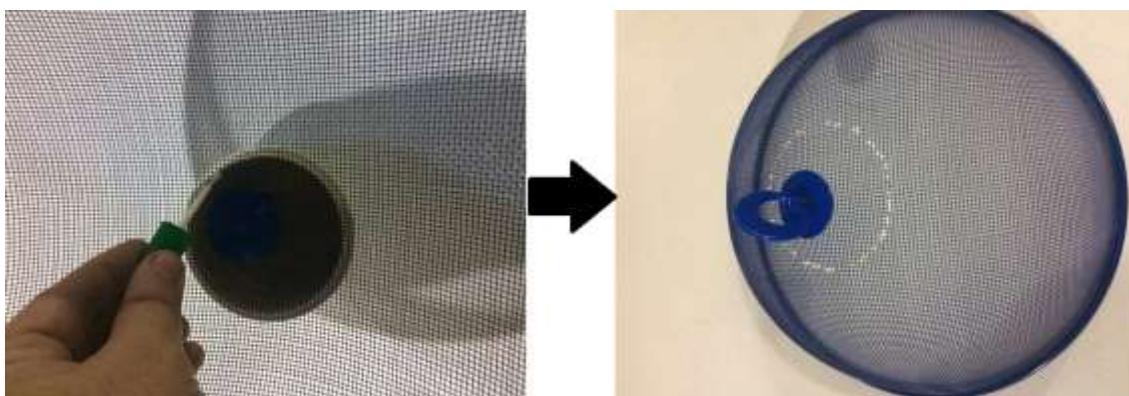
## ETAPA 1: PROCESSO DE MONTAGEM DA ESFERA DO GVG

Primeiramente vamos pegar uma das duas telas protetoras e um dos dois CAP's do tubo PVC 75 para a marcação de onde vamos cortar a tela protetora (ver figura 3.23). A ideia é que o CAP fique fixado na parte central da casca semiesférica formada pela tela protetora de alimentos.



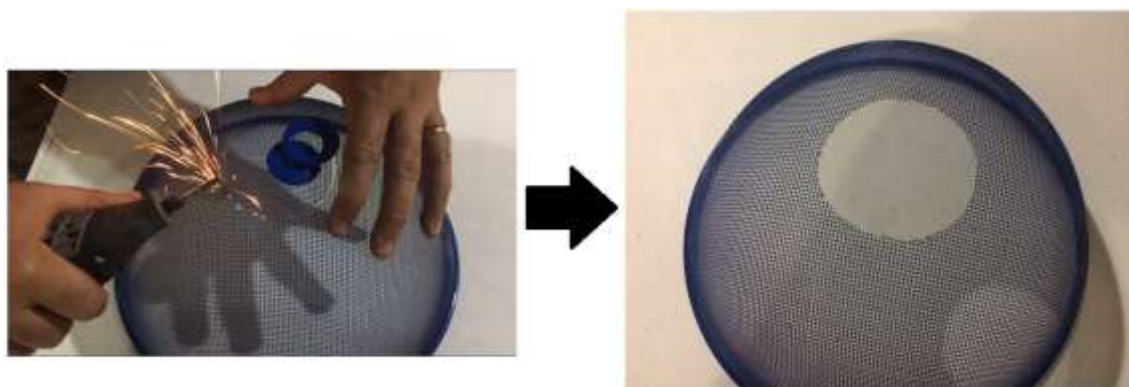
**Figura 3.23** – Marcação do cap na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Após centralizar o cap, vamos fazer a marcação do corte na tela protetora de alimentos (ver figura 3.24); para isso vamos utilizar um corretor escolar.



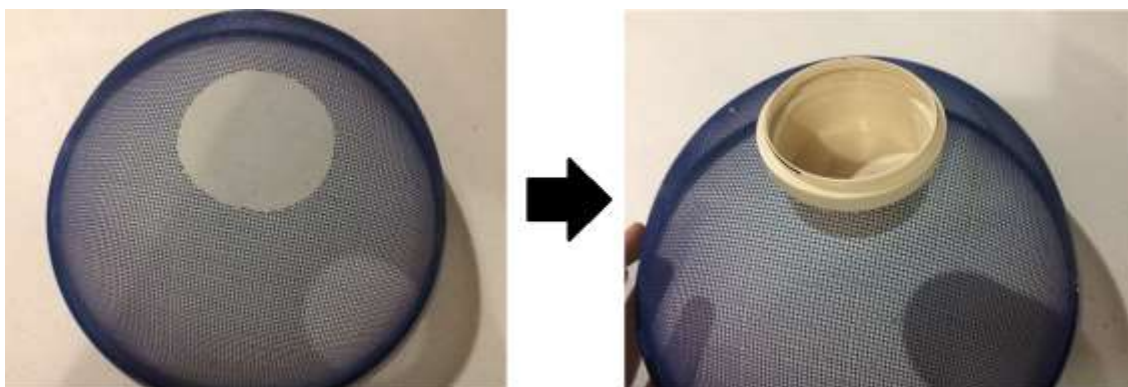
**Figura 3.24** – Marcação para o corte na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Feito a marcação, agora vamos executar o corte (ver figura 3.25); para isso, vamos utilizar uma serra circular de uma micro retífica.



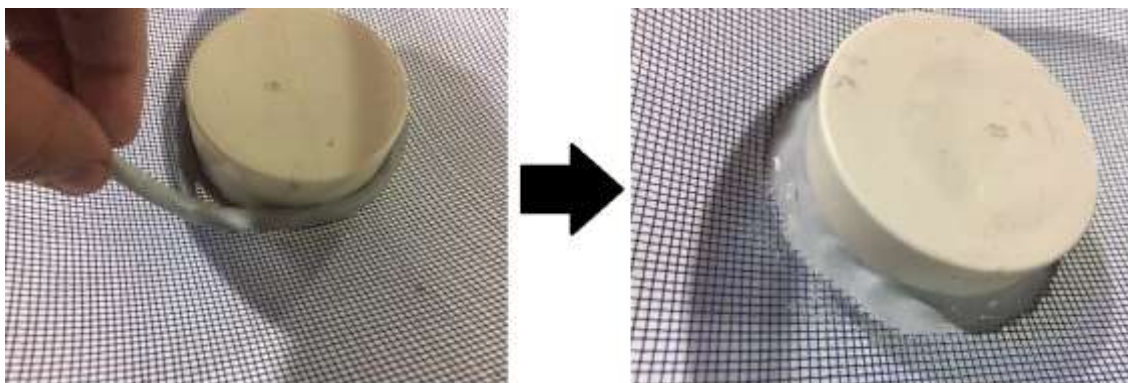
**Figura 3.25** – Execução do corte na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Colocamos, nesse momento, o CAP no buraco feito na tela protetora de alimentos, como ilustrado pela figura 3.26.



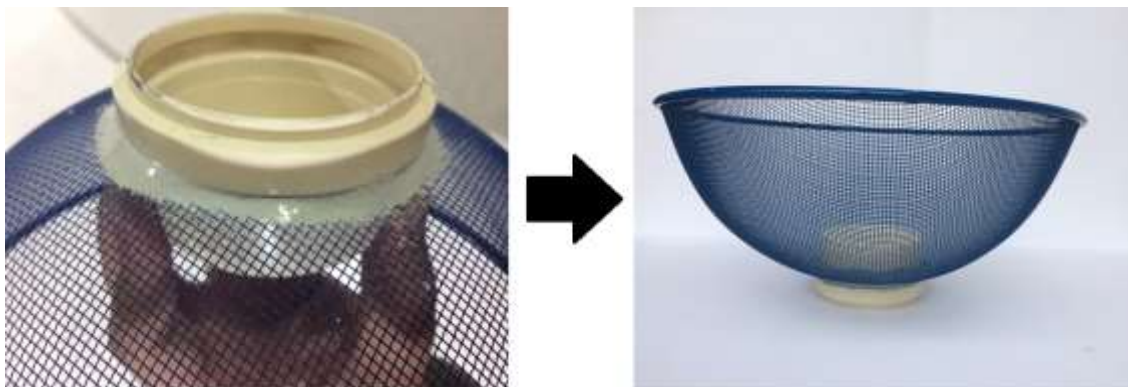
**Figura 3.26** – Encaixe do cap na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Fixaremos o CAP à tela protetora agora (ver figura 3.27). Para isso vamos utilizar a massa epóxi.



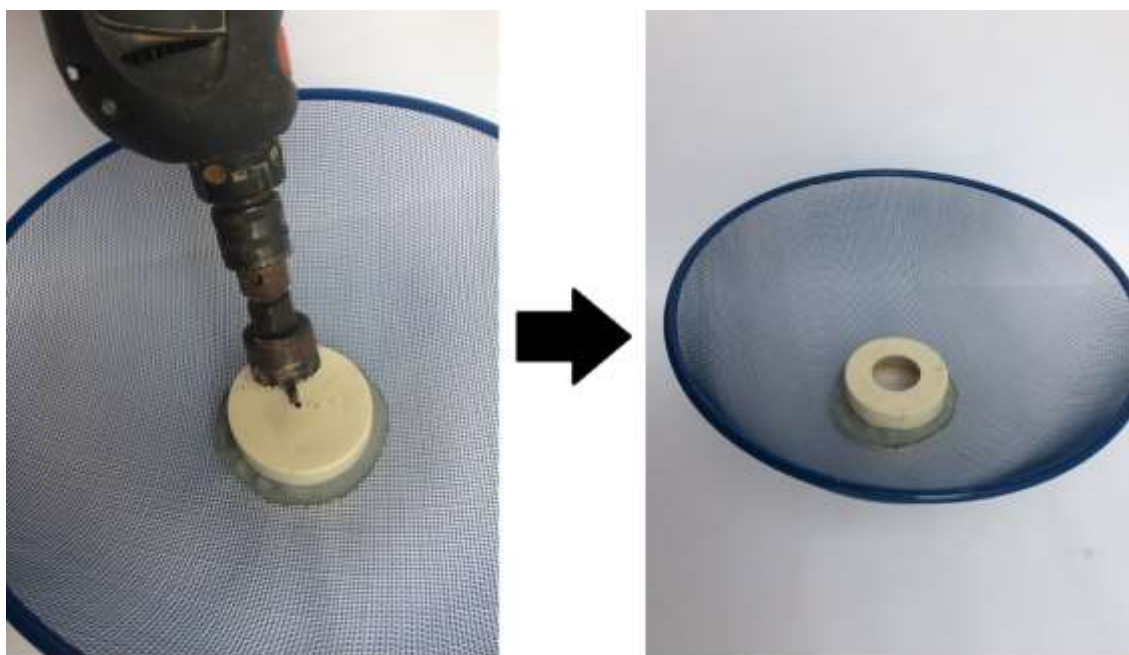
**Figura 3.27** – Fixando o cap na tela protetora de alimento utilizando massa epóxi. **Fonte:** O Autor.

Modele a massa, com as mãos úmidas, ao redor do CAP tanto na parte interna quanto na parte externa da tela protetora (ver figura 3.28). Quando terminar de moldar, deixe a massa secar por 2 horas.



**Figura 3.28** – Modelando a massa epóxi ao redor do cap. **Fonte:** O Autor.

Após a secagem da massa epóxi, iremos executar um furo central no cap. Esse furo poderá ser feito por uma serra copo de 1" ½ e uma furadeira como ilustrado pela figura 3.29.



**Figura 3.29** – Furação do cap. **Fonte:** O Autor.

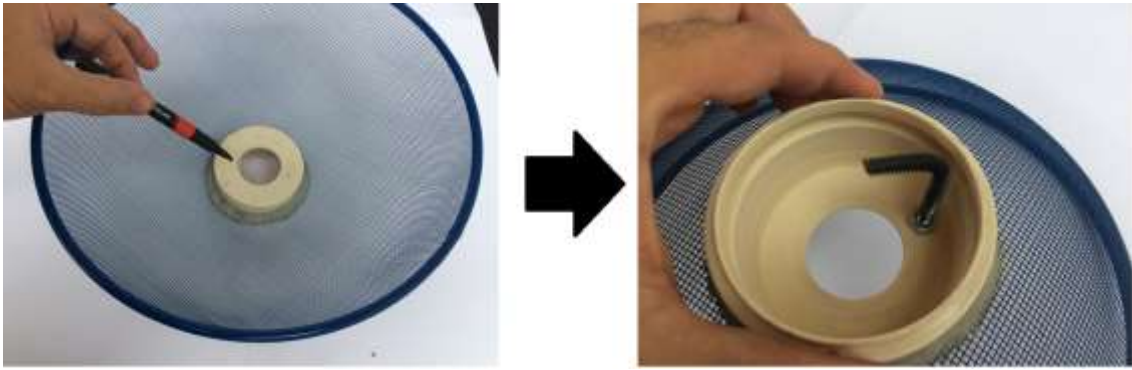
A razão deste furo é para auxiliar na fixação de um pedaço da barra rosqueada de ¼ que ficará em formato de L, e servirá para “tirar” ou “colocar” os elétrons na correia. Assim, cortaremos cerca de 10cm da barra rosqueada e com auxílio de um torno, vamos dobrar esse pedaço de uma forma que a maior parte fique próximo dos 7 cm de comprimento (ver figura 3.30).



**Figura 3.30** – Modelagem do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

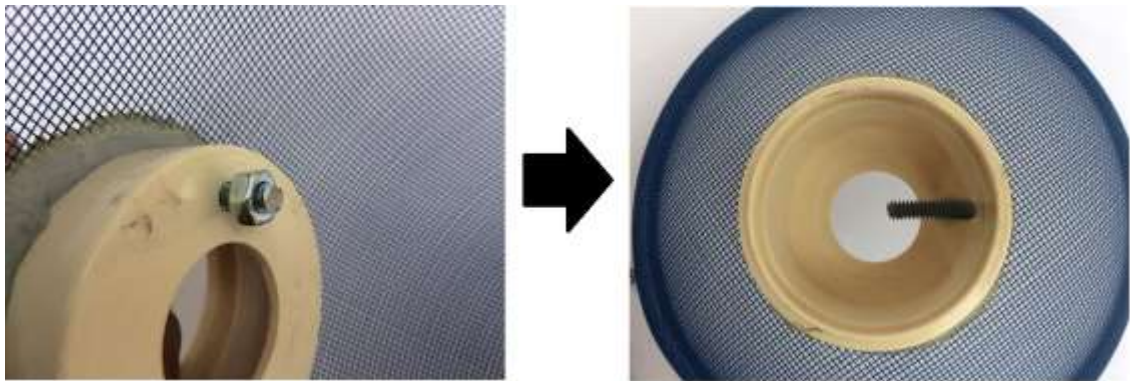
Uma dica é aquecer esse pedaço da barra rosqueada no ponto que iremos dobrar; isso deixará o metal mais flexível, o que evitará uma possível quebra.

Feito a dobra, colocamos uma porca e encaixamos no CAP, após fazermos um furo utilizando a furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.31).



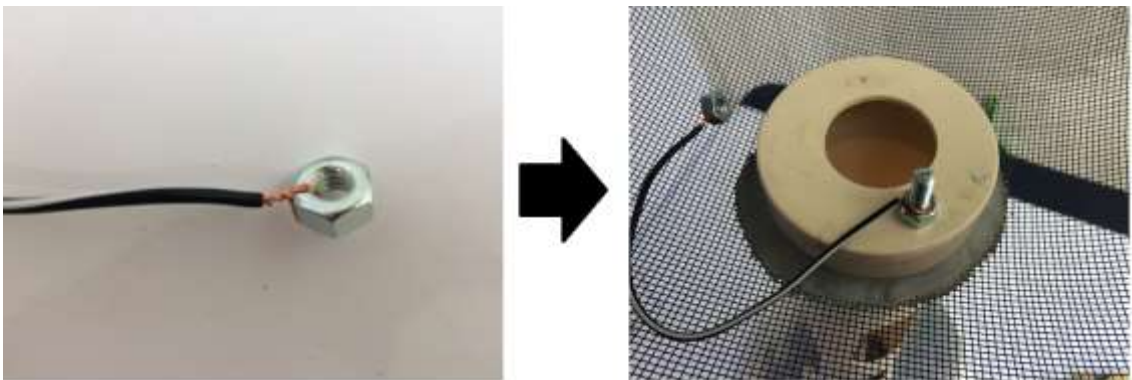
**Figura 3.31** – Encaixe do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

Depois, enroscamos uma segunda porca, para prender a peça em L no cap (ver figura 3.32).



**Figura 3.32** – Fixação do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

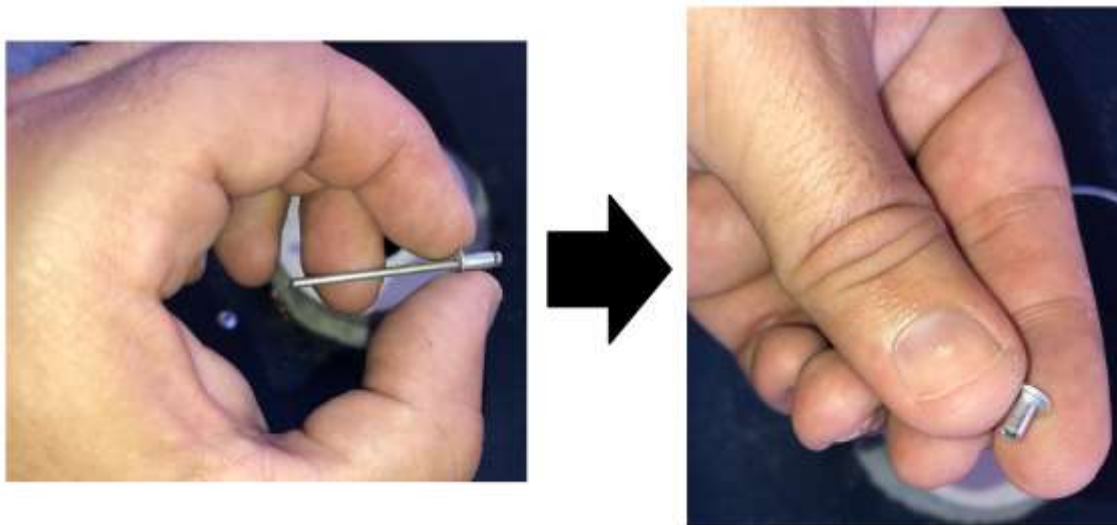
Ainda falta um fio que irá conectar a peça em L à tela semiesférica. Para isso, vamos apresentar duas sugestões: O modelo 1 e o modelo 2. No modelo 1 a construção é mais simples, porém pode apresentar uma certa resistência para o fluxo de elétrons entre a peça em L e a tela durante o funcionamento do gerador, pois existe, em nosso modelo, uma tinta que envolve o metal da tela protetora de alimento. Para a execução desse primeiro modelo, basta cortar cerca de 20cm do fio de 1mm, raspar as pontas, prender uma porca em uma extremidade e fixar a outra na peça em L (ver figura 3.33).



**Figura 3.33** – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.1). **Fonte:** O Autor.

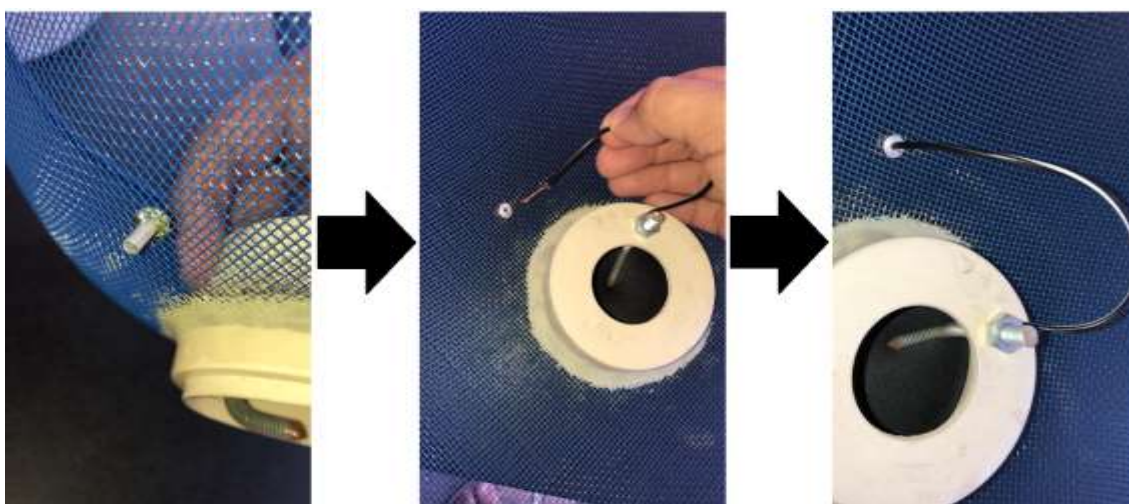


Para a nossa segunda sugestão (modelo 2), vamos eliminar a resistência formada pela tinta que envolve a tela metálica. O primeiro passo é utilizar um rebite e retirar a 'cabeça' como ilustrado pela figura 3.34.



**Figura 3.34** – Retirando a 'cabeça' do rebite. **Fonte:** O Autor.

Encaixaremos e colaremos essa 'cabeça' do rebite em um orifício (próximo ao cap) da tela protetora de alimento (ver figura 3.35); em seguida fixamos o fio desencapado, que está conectado à peça em L, no orifício da cabeça do rebite.



**Figura 3.35** – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.2). **Fonte:** O Autor.

Vale apenas salientar que pelos dois modelos, iremos ter a eletrização da cúpula do GVG, porém, como no modelo 2 há um contato mais direto entre o pino coletor e a tela, essa eletrização se dá de forma mais eficiente.

Para finalizar a etapa 1, vamos unir essa tela semiesférica com a outra tela semiesférica, que ainda não foi trabalhada. Para essa fixação, vamos fornecer três soluções, mentalizada por mim e pelo meu orientador. Essas ideias estão ilustradas pelas figuras 3.36, 3.37 e 3.38.



**Figura 3.36** – Fixação entre as telas semiesféricas via pedaço de metal moldado em U. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.37** – Fixação entre as telas semiesféricas via a quatro prendedores de papel. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.38** – Fixação entre as telas semiesféricas via elásticos. **Fonte:** O Autor.

Concluimos assim a etapa 1, onde foi construído a esfera condutora do nosso GVG. Após a conclusão das etapas 2 e 3, esta peça irá se encaixar na parte superior da coluna do gerador.

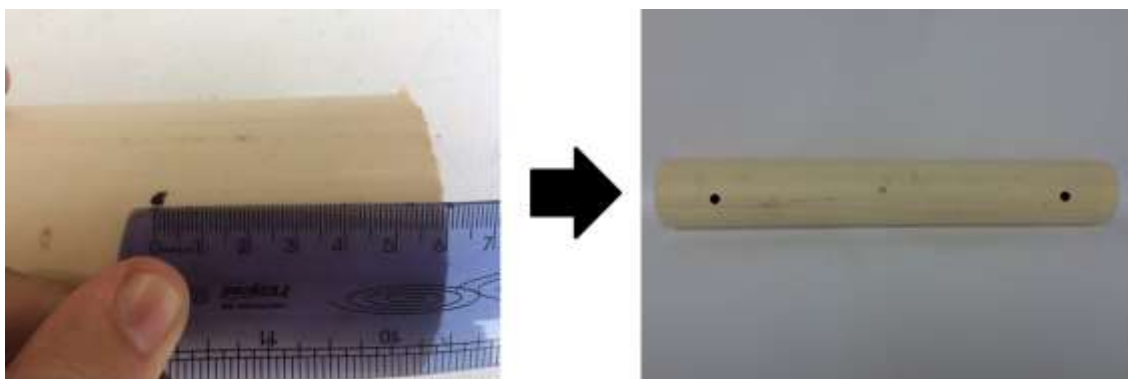
## ETAPA 2: PROCESSO DE MONTAGEM DA COLUNA DO GVG

Para dar início a essa etapa, iremos verificar se o tubo PVC de 75 mm de diâmetro, está com 50 cm de comprimento (ver figura 3.39).



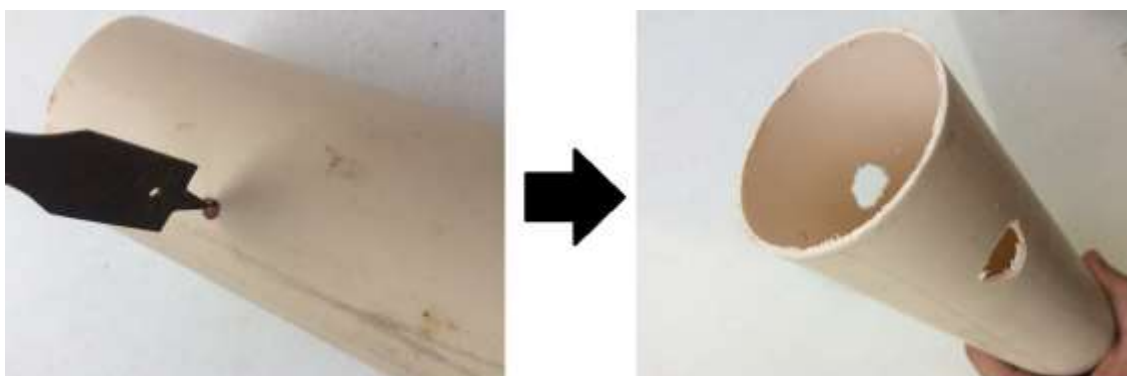
**Figura 3.39** – Tubo PVC (75 mm) com 50 cm de comprimento. **Fonte:** O Autor.

Após a verificação, iremos fazer os furos onde serão colocados os roletes inferior e superior do GVG. Primeiramente faremos as marcações onde iremos furar (ver figura 3.40); de maneira linear, marcamos dois pontos à 6 cm de cada extremidade do tubo.



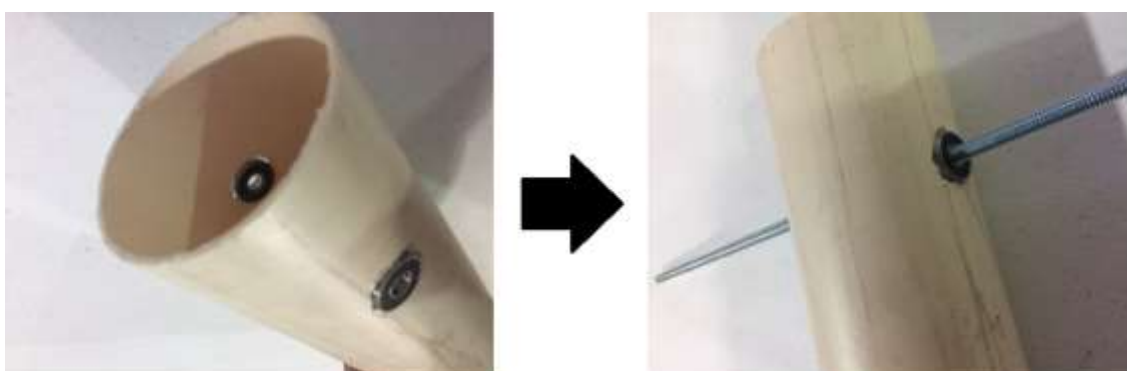
**Figura 3.40** – Marcação do posicionamento dos roletes no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Com o tubo na horizontal e com uma furadeira (usando uma broca ponta chata 3/4) perfeitamente na vertical, execute o furo em uma das extremidades do tubo conforme ilustra a figura 3.41.



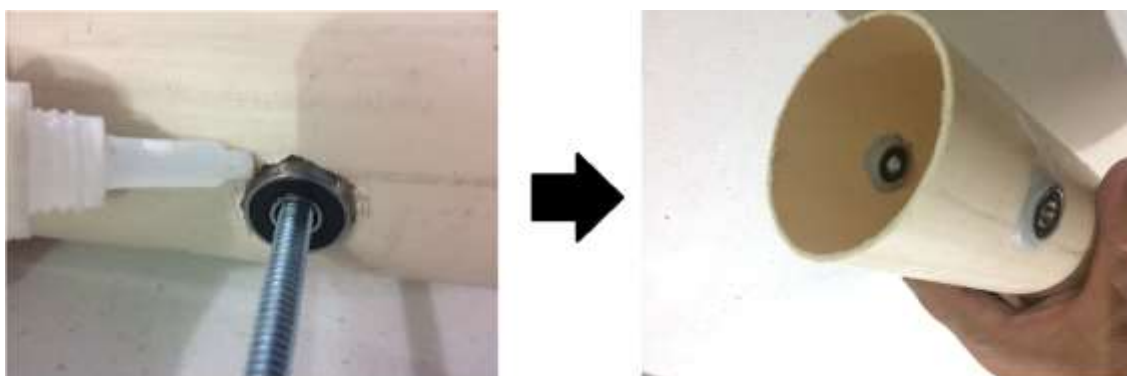
**Figura 3.41** – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Nesses furos serão acoplados dois rolamentos 607 (ver figura 3.42). Encaixe a barra rosqueada de 1/4 nos rolamentos para verificar o alinhamento entre eles.



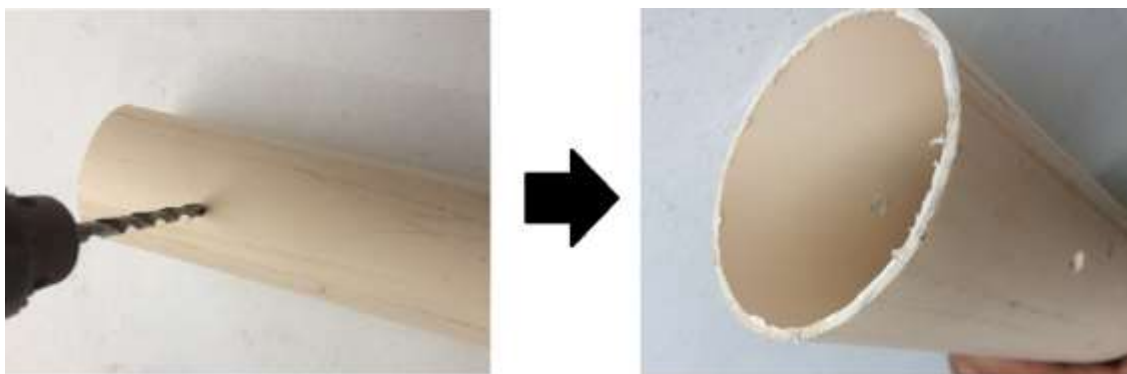
**Figura 3.42** – Verificando o alinhamento entre os rolamentos via barra rosqueada. **Fonte:** O Autor.

Após a verificação, fixe os rolamentos ao tubo utilizando cola instantânea (ver figura 3.43). Em seguida faça o acabamento ao redor do rolamento utilizando a massa epóxi.



**Figura 3.43** – Fixando os rolamentos ao tubo PVC 75 mm com massa epóxi. **Fonte:** O Autor.

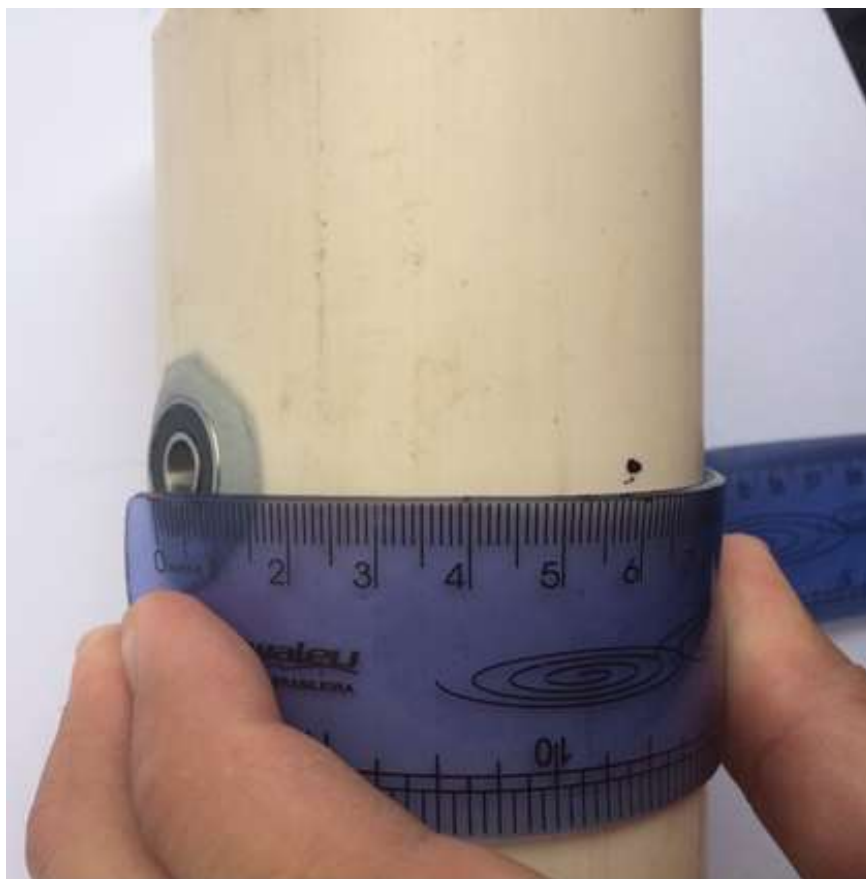
Deixe a massa epóxi secar por 2h e em seguida execute os furos na outra extremidade do tubo utilizando a furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.44).



**Figura 3.44** – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Vamos iniciar as aberturas laterais no tubo. Tais aberturas servirão como uma espécie de janela, onde iremos visualizar o movimento da correia pelo interior do tubo e como um possível acesso ao ar quente de um secador de cabelo, caso se deseje tirar a umidade da correia.

Conforme ilustra a figura 3.45, faça uma marcação no ponto médio do arco que une os dois rolamentos fixos no tubo.



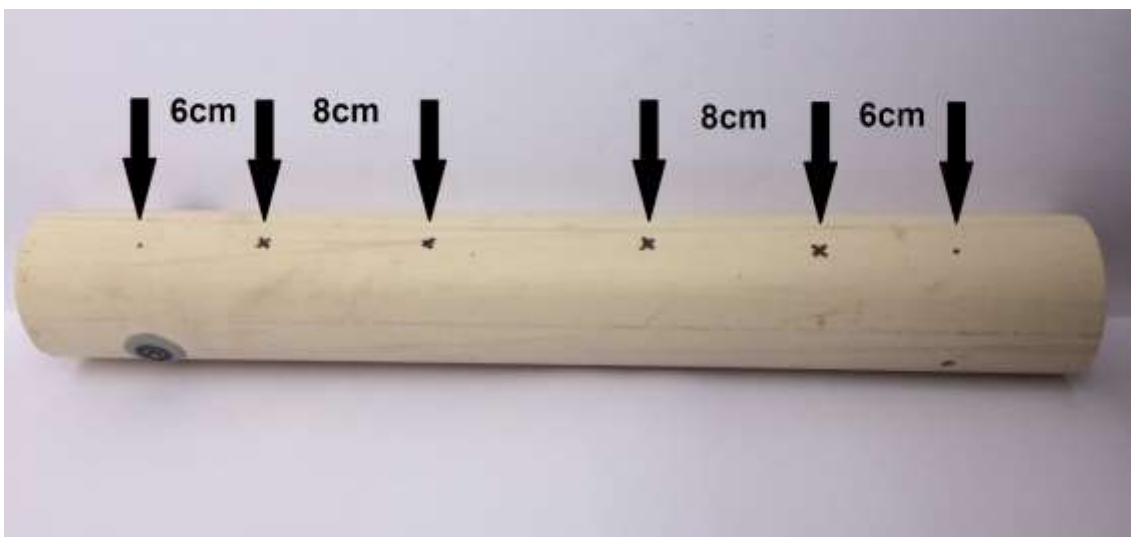
**Figura 3.45** – 1ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

De forma semelhante, faça a marcação na outra extremidade do tubo (ver figura 3.46); ou seja, no ponto médio do arco que une os dois furos.



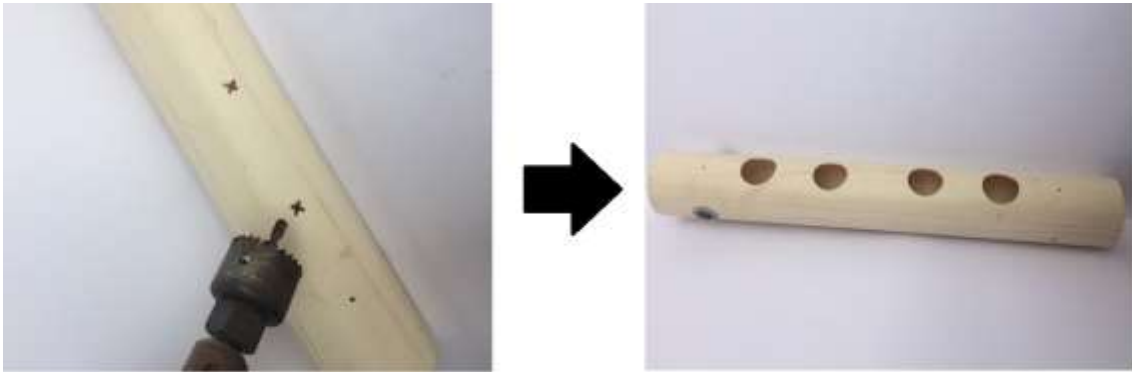
**Figura 3.46** – 2ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Entre esses dois pontos, faça mais quatro marcações; conforme as medidas que estão indicadas na figura 3.47.



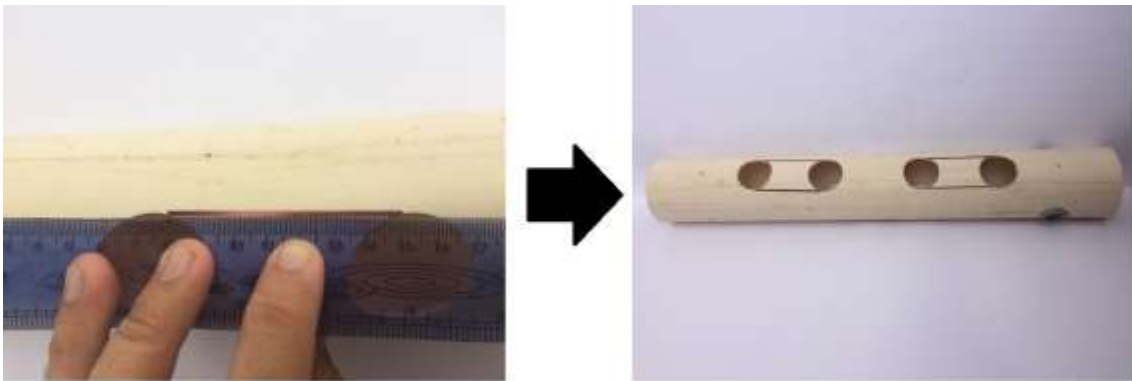
**Figura 3.47** – 3ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Com uma furadeira e uma serra copo de 1" ½, execute os furos nas quatro últimas marcações feitas (ver figura 3.48).



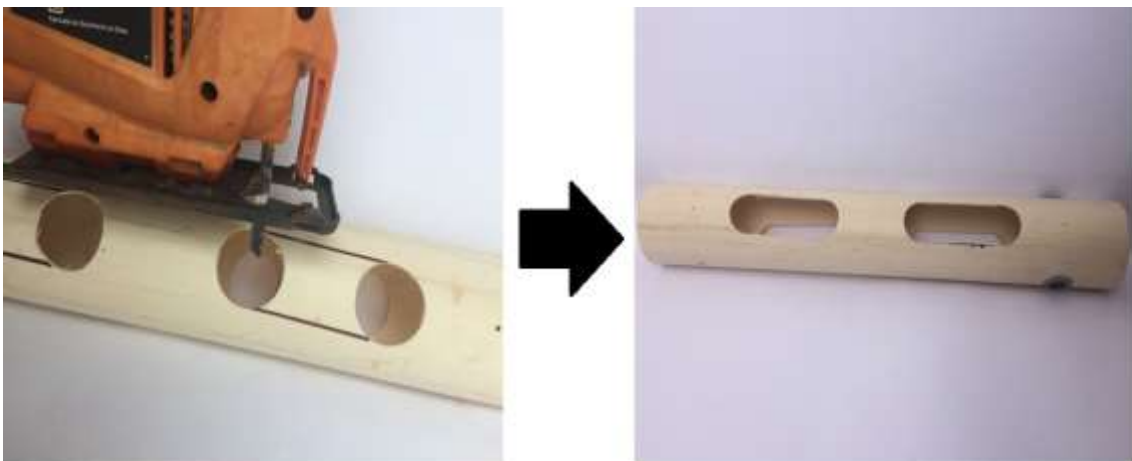
**Figura 3.48** – Execução dos furos laterais no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Faça no tubo, duas retas paralelas de forma tangencial aos dois furos de cada extremidade (ver figura 3.49).



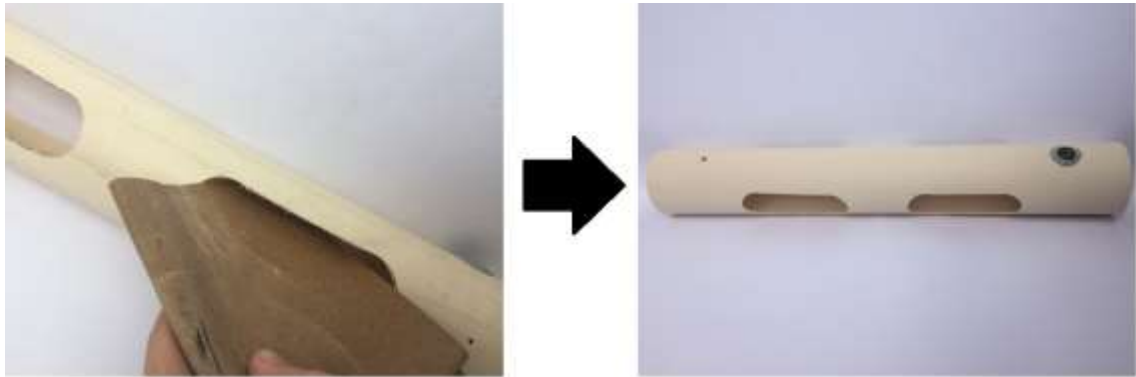
**Figura 3.49** – Marcações das linhas tangenciais aos furos feitos no passo anterior. **Fonte:** O Autor.

Execute o corte utilizando a serra tico-tico ou qualquer serra que esteja ao seu alcance (ver figura 3.50).



**Figura 3.50** – Execução dos cortes para as aberturas laterais no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Faça o mesmo procedimento para a abertura lateral do tubo no lado oposto e lixe a peça (ver figura 3.51).



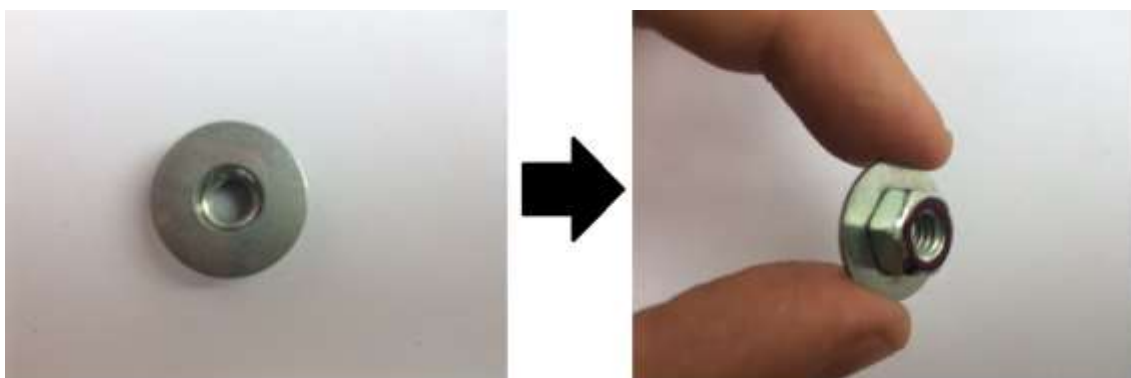
**Figura 3.51** – Acabamento das aberturas laterais. **Fonte:** O Autor.

Para finalizar essa etapa, vamos incluir nesse tubo os roletes e a correia transportadora de carga. Começando com o rolete inferior, tomemos em mãos um dos dois pedaços de 5cm do tubo PVC com 20mm de diâmetro, duas arruelas para parafuso de 1/4 e uma porca sextavada de 1/4 (ver figura 3.52).



**Figura 3.52** – Componentes para a construção do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

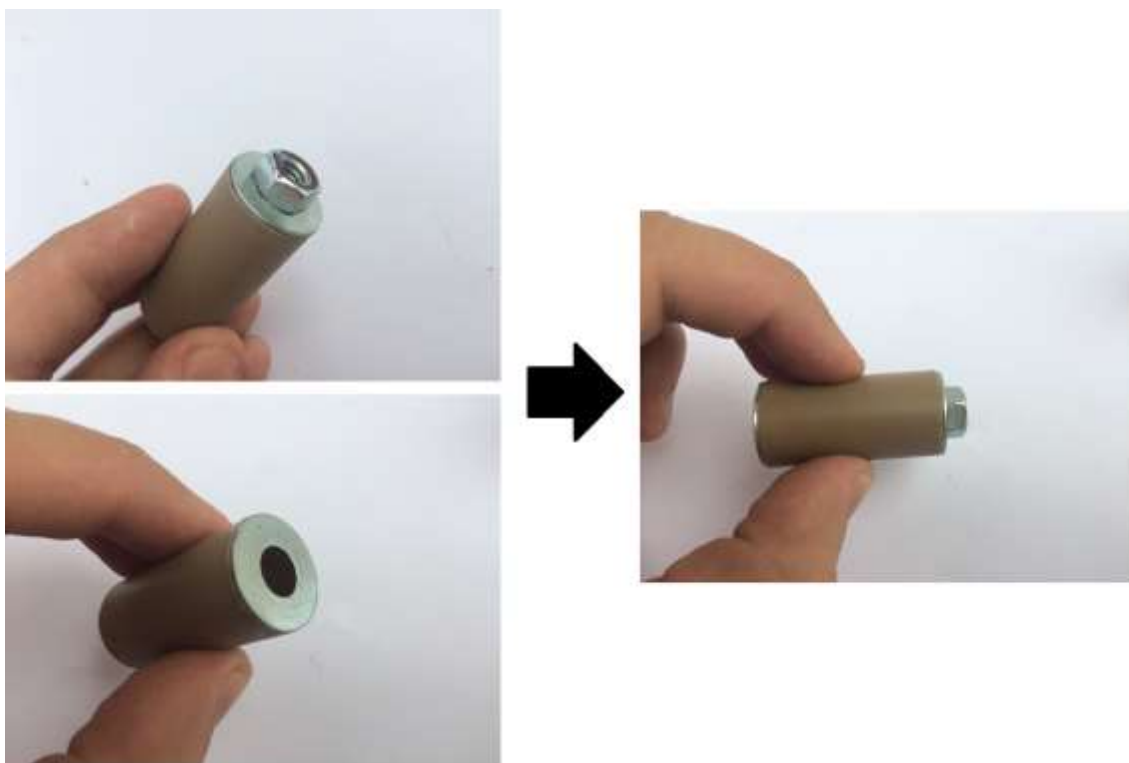
Com o auxílio da cola instantânea, vamos fixar uma das arruelas à porca de forma que os orifícios centrais fiquem bem alinhados (ver figura 3.53).



**Figura 3.53** – Colando a arruela na porca via cola instantânea. **Fonte:** O Autor.

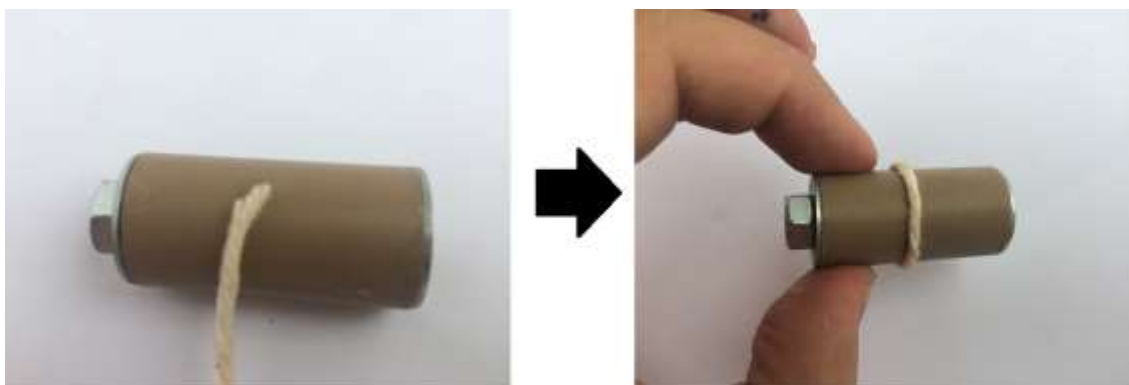


Ainda utilizando a cola instantânea, fixemos a peça, esquematizada pela figura 3.53, à uma extremidade do tubo PVC de 5cm e a arruela na outra extremidade (ver figura 3.54).



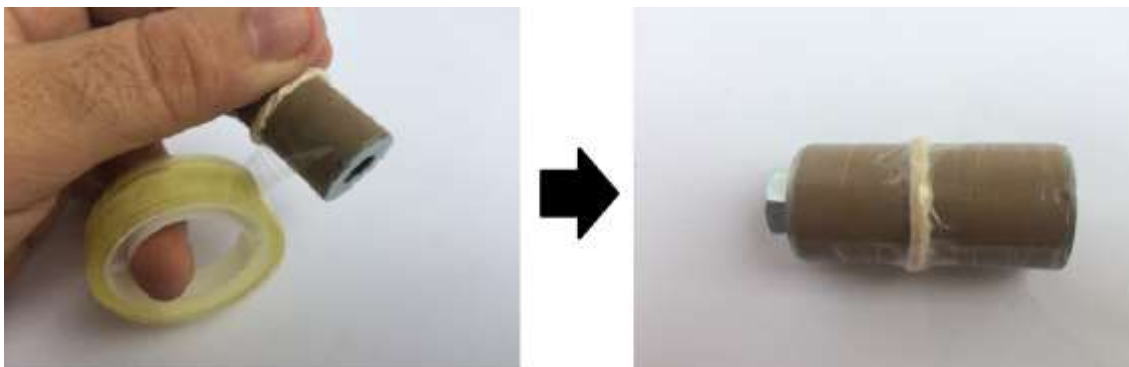
**Figura 3.54** – Fixação dos componentes do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Com o barbante, daremos uma volta na peça ilustrada pela figura 3.54, exatamente no ponto médio do comprimento desse tubo de 5cm (ver figura 3.55). Essa “voltinha” poderá ser fixada com a cola instantânea e servirá como uma espécie de guia para a correia se manter no centro do rolete, não a deixando escapar para os lados.



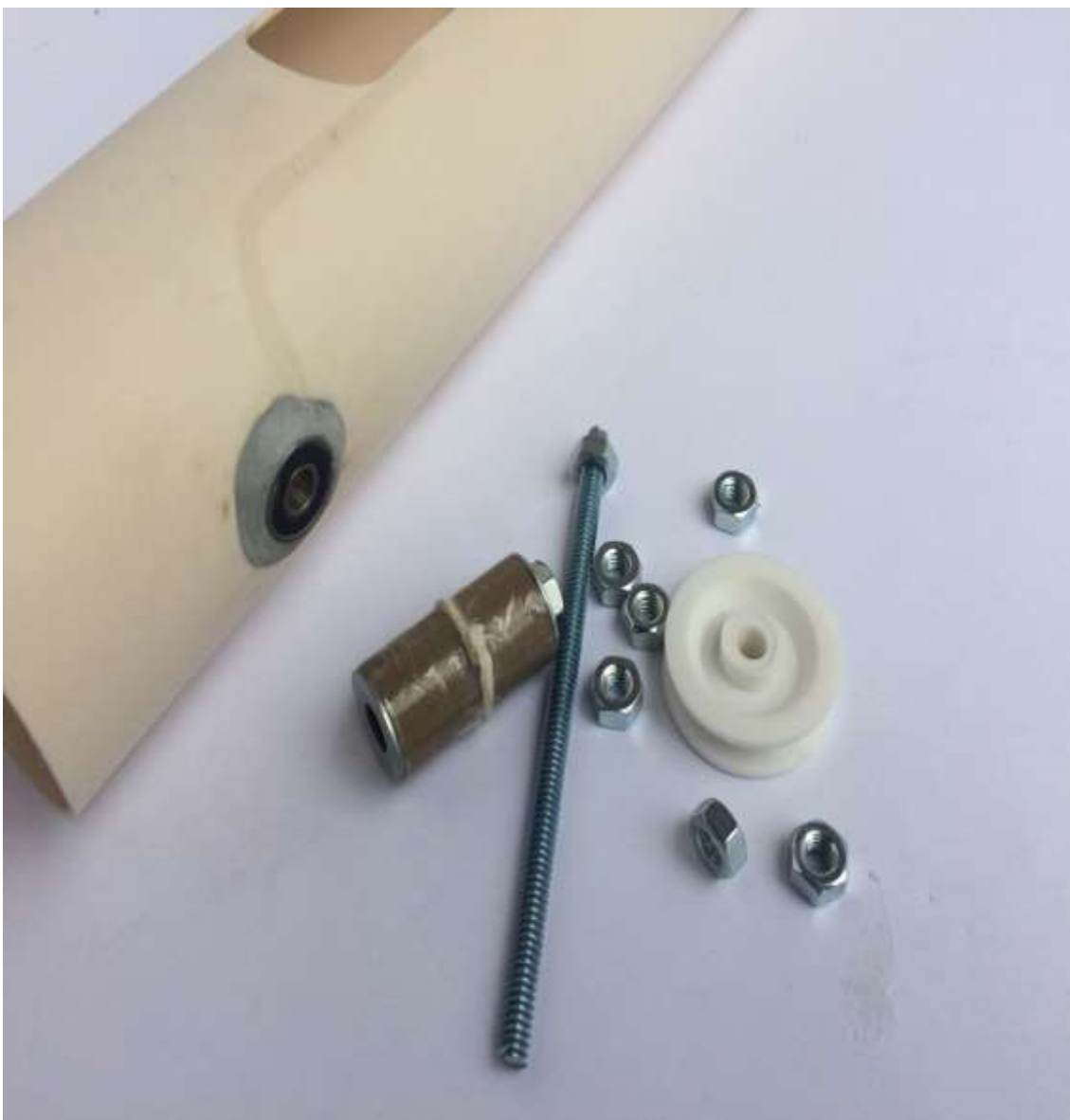
**Figura 3.55** – Colando uma volta de barbante no ponto médio do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Para finalizar o rolete inferior do GVG vamos envolver todo o comprimento da peça acima com fita adesiva incolor (ver figura 3.56).



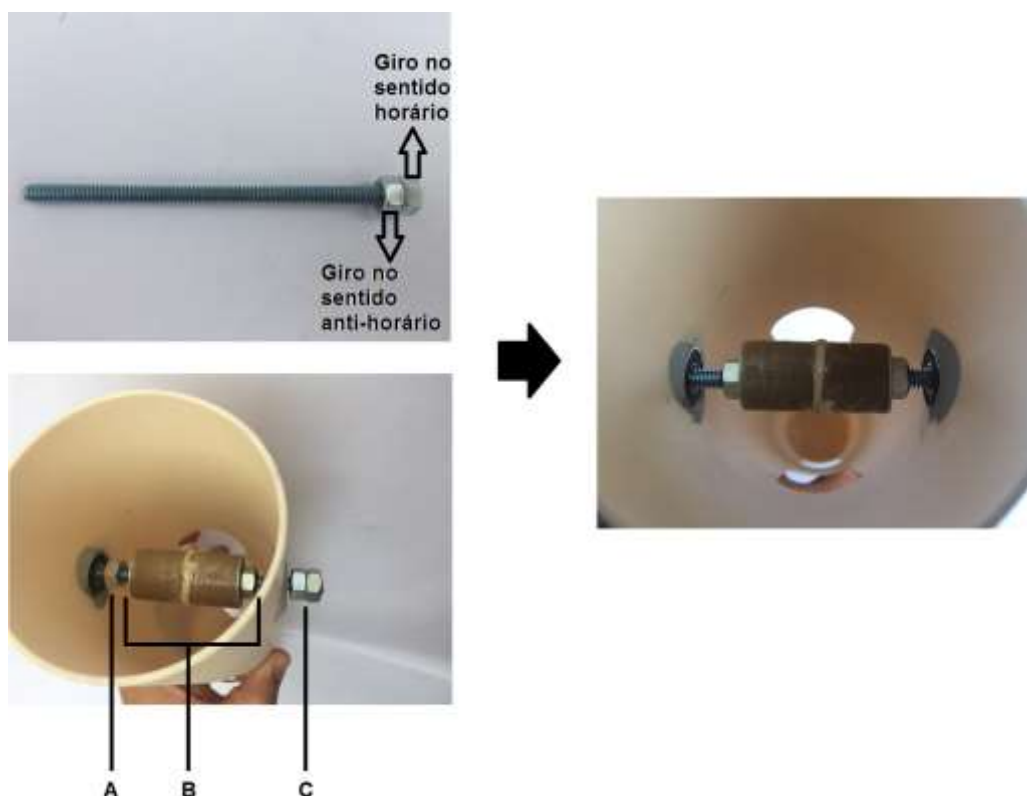
**Figura 3.56** – Envolvendo o rolete inferior do GVG com fita adesiva incolor. **Fonte:** O Autor.

Vamos encaixar a peça acima na parte inferior do tubo PVC que será a coluna do nosso GVG. Para isso, iremos precisar de 12 cm da barra rosqueada de 1/4, 7 porcas e a roldana plástica (ver figura 3.57).

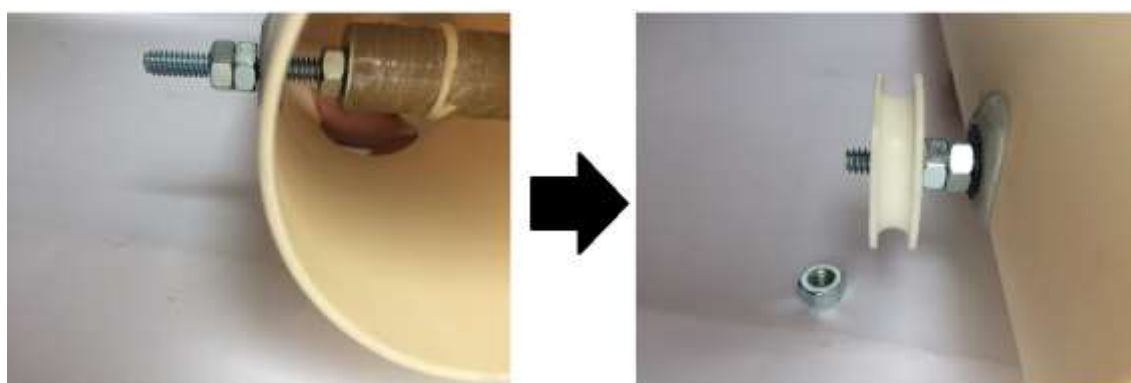


**Figura 3.57** – Componentes para o encaixe do rolete inferior no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Numa das extremidades do pedaço da barra rosqueada, iremos prender (sob pressão) duas porcas rosqueando fortemente uma contra a outra, em seguida introduzimos essa peça no orifício do rolamento, que está fixo ao tubo PVC (coluna do GVG), de modo que a sequência fique: A - porca, B - rolete (esse ficará centralizado na parte interna do tubo) e C - as duas porcas presas sob pressão. Feito isso, fixaremos A com B (também sob pressão) rosqueando um contra o outro (ver figura 3.58). Na outra extremidade desse pedaço de barra rosqueada, iremos fixar mais duas porcas sob pressão (rosqueando uma contra a outra) e colocaremos a roldana em seguida (ver figura 3.59).

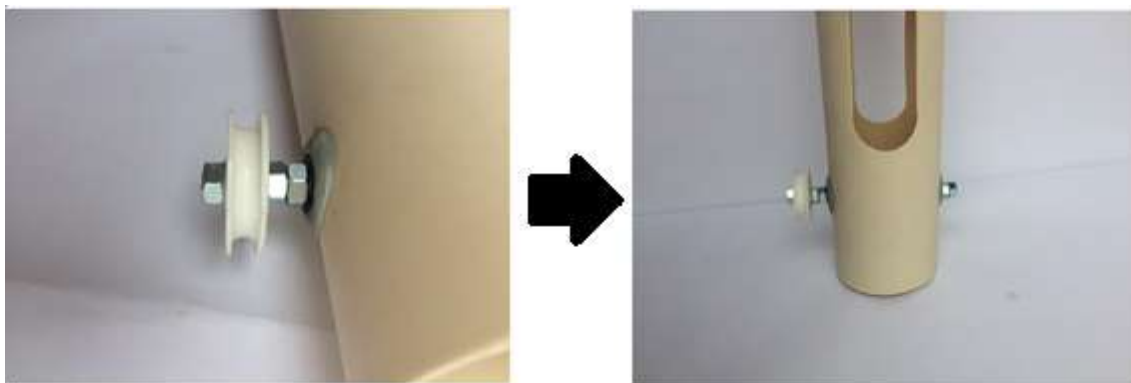


**Figura 3.58** – Encaixe do rolete inferior do GVG no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.59** – Fixando a roldana ao eixo do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Rosqueando a última porca, fixaremos a roldana ao pedaço da barra rosqueada devido a pressão entre as porcas. Com isso, iremos finalizar todo o mecanismo para o rolete inferior do GVG (ver figura 3.60).



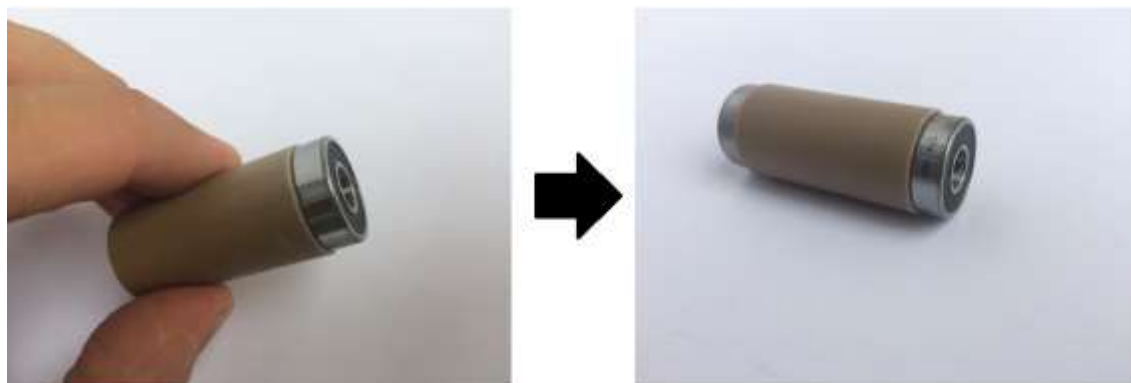
**Figura 3.60** – Finalizando o encaixe do rolete inferior do GVG ao tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Para o rolete superior, usaremos as outras duas roldanas 607, o outro pedaço de 5 cm do tubo PVC de 20 mm de diâmetro e a cola instantânea (ver figura 3.61).



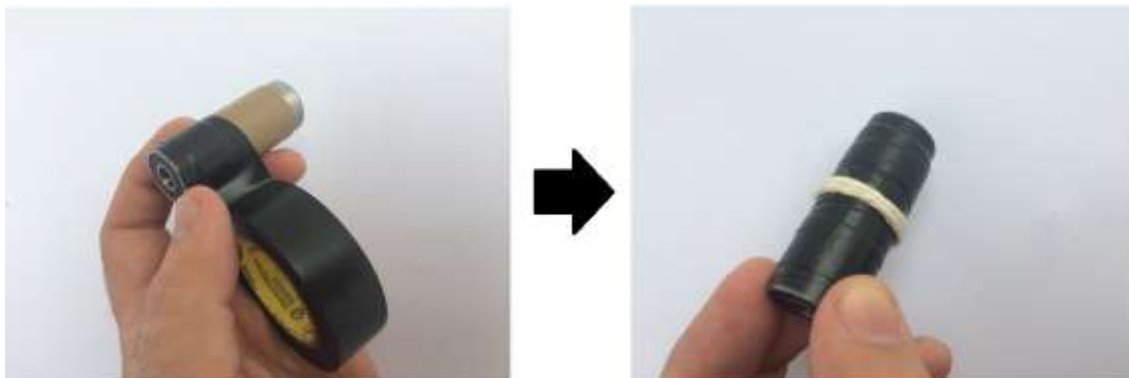
**Figura 3.61** – Componentes para a construção do rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Começaremos colando um rolamento a cada extremidade do tubo (ver figura 3.62).



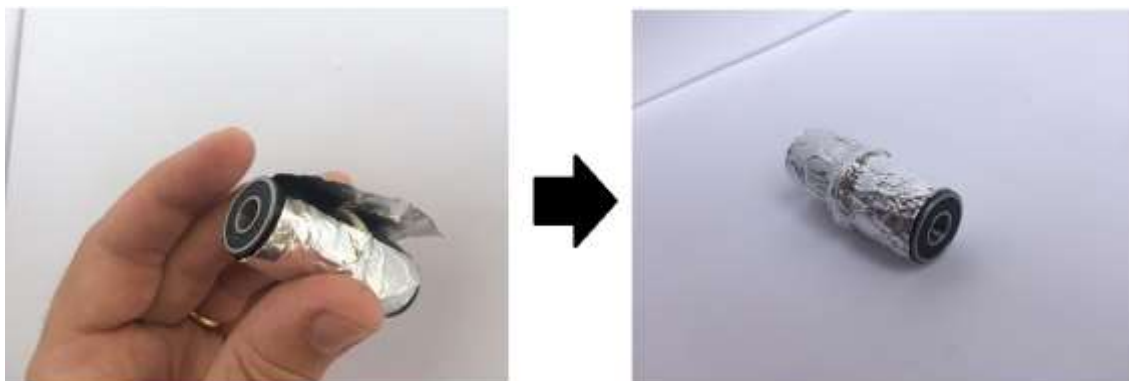
**Figura 3.62** – Colando os rolamentos nas extremidades do tubo PVC 20 mm. **Fonte:** O Autor.

Vamos envolver todo o comprimento da peça com fita isolante e colar uma volta de barbante no ponto médio (ver figura 3.63).



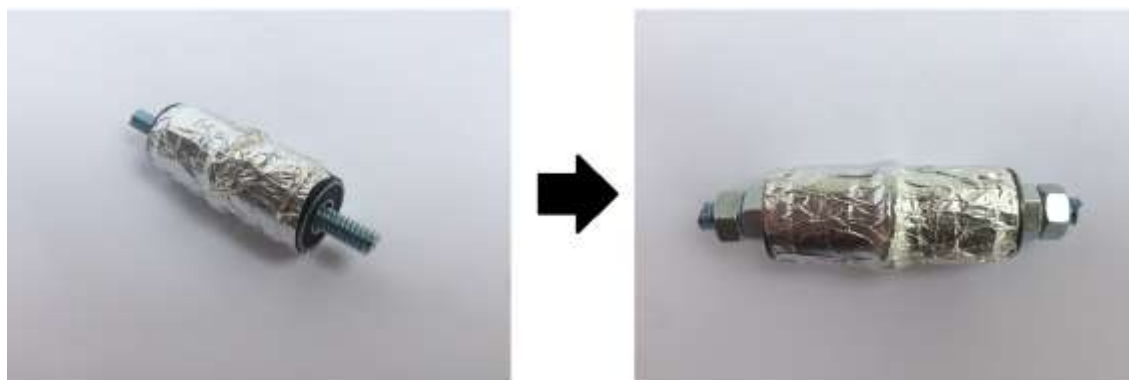
**Figura 3.63** – Envolvendo fita isolante no rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Em seguida, também com a cola instantânea, colaremos o pedaço de papel alumínio (4 cm x 8 cm) ao redor da peça acima (ver figura 3.64).



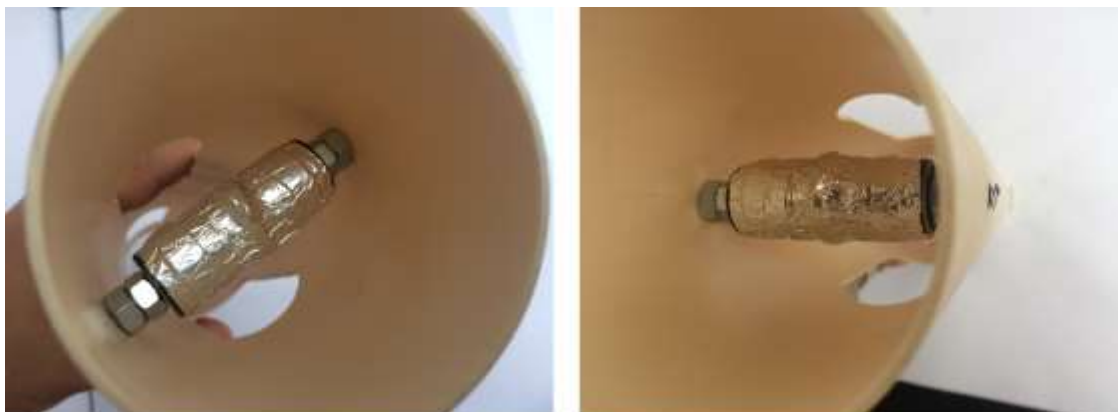
**Figura 3.64** – Colando papel alumínio no rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Para o eixo desse rolete, usaremos 8 cm da barra rosqueada de 1/4 com duas porcas fixas, rosqueadas fortemente uma contra a outra, em cada extremidade do eixo (ver figura 3.65). Devemos tomar cuidado para não travarmos o rolete contra as porcas.



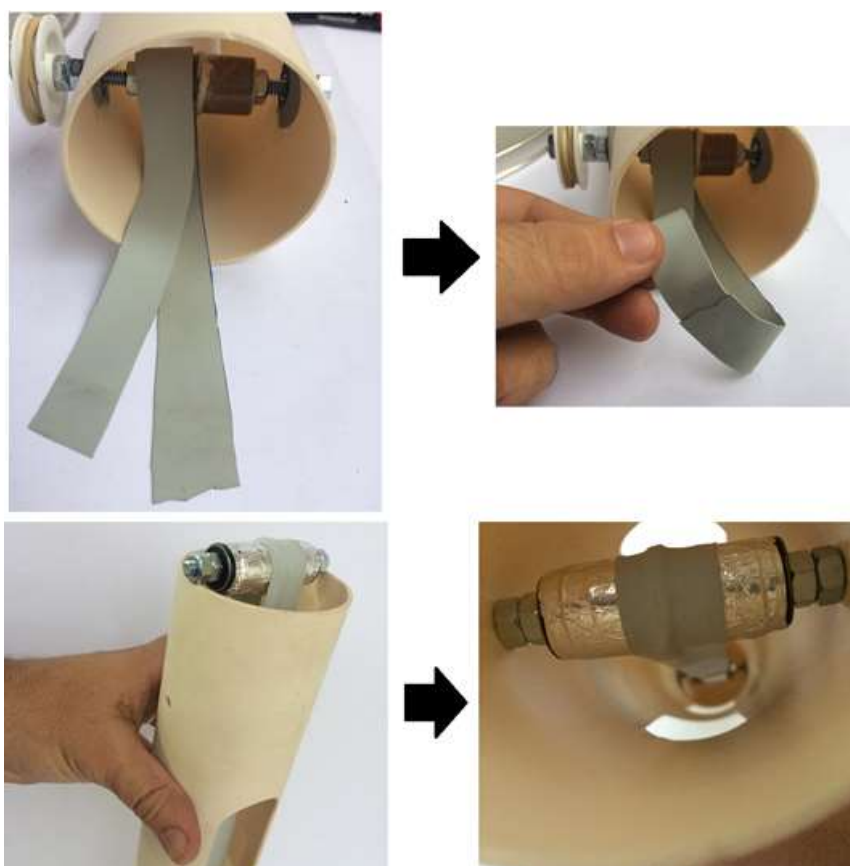
**Figura 3.65** – Finalizando o rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Note no esquema da figura 3.65, que devemos deixar, em ambos os lados, uns 3 mm do pedaço da barra rosqueada para fora da porca. Essa saliência servirá para encaixar o rolete na parte superior do tubo que será a coluna do GVG (ver figura 3.66).



**Figura 3.66** – Encaixando o rolete superior do GVG no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Para instalar a correia entre os roletes, cortaremos 2cm x 50cm da faixa elástica e com a cola instantânea colaremos as extremidades após passar o pedaço cortado da faixa pelo rolete inferior do GVG. Após a secagem da cola, encaixaremos a correia ao rolete superior do GVG (ver figura 3.67).



**Figura 3.67** – Instalação da correia do GVG entre os roletes inferior e superior. **Fonte:** O Autor.

Assim finalizamos a etapa 2 onde se focou na construção da coluna do nosso GVG (ver figura 3.68).

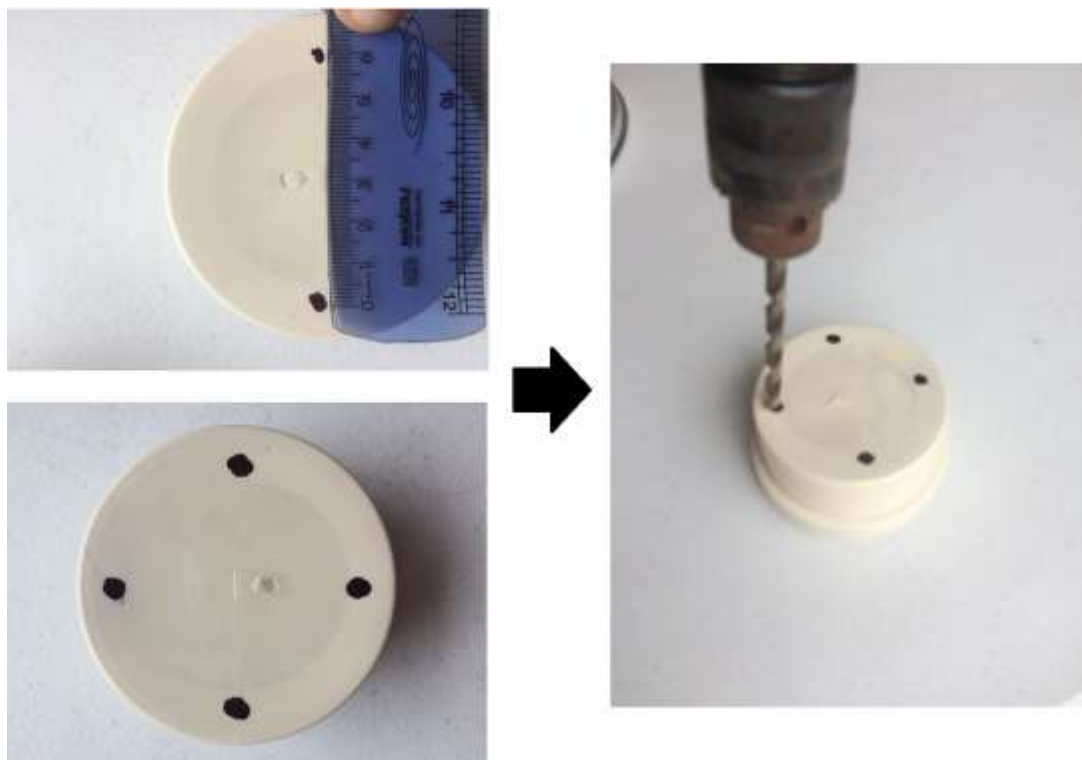


**Figura 3.68** – Coluna do nosso modelo de GVG. **Fonte:** O Autor.

Após a conclusão de todas as etapas, veremos que a peça acima se encaixará, pela parte inferior, à peça que iremos construir na etapa 3 (base do GVG) e a esfera construída na etapa 1 se encaixará na parte superior desse tubo.

### ETAPA 3: PROCESSO DE MONTAGEM DA BASE DO GVG

Iniciaremos essa etapa fixando um cap do tubo pvc 75 mm no centro da forma de pizza. Para tal tarefa, primeiramente faremos as marcações no cap onde executaremos os furos com o auxílio de uma furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.69).



**Figura 3.69** – Marcações e execuções dos furos no cap. **Fonte:** O Autor.

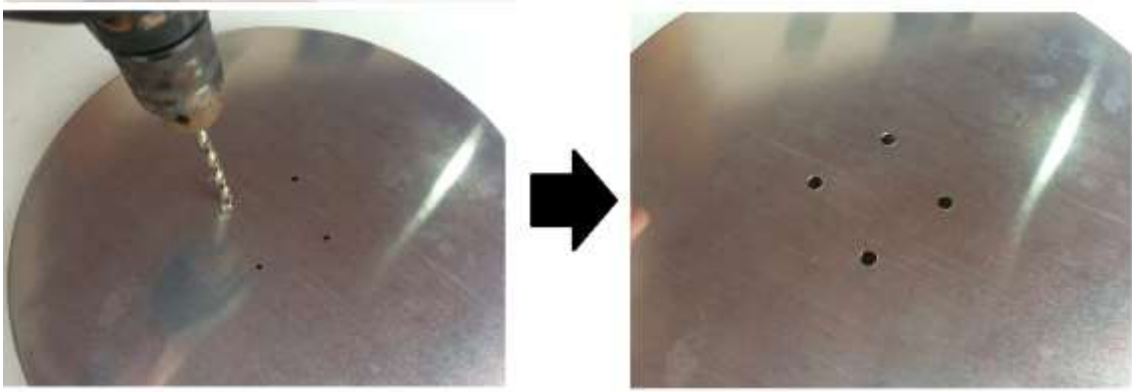
Após a execução dos furos, alinhamos o cap na parte central da forma de pizza de modo que um esteja de “costas” para o outro. Assim, faça as marcações na forma de pizza conforme ilustra a figura 3.70.



**Figura 3.70** – Marcações para a execução dos furos na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

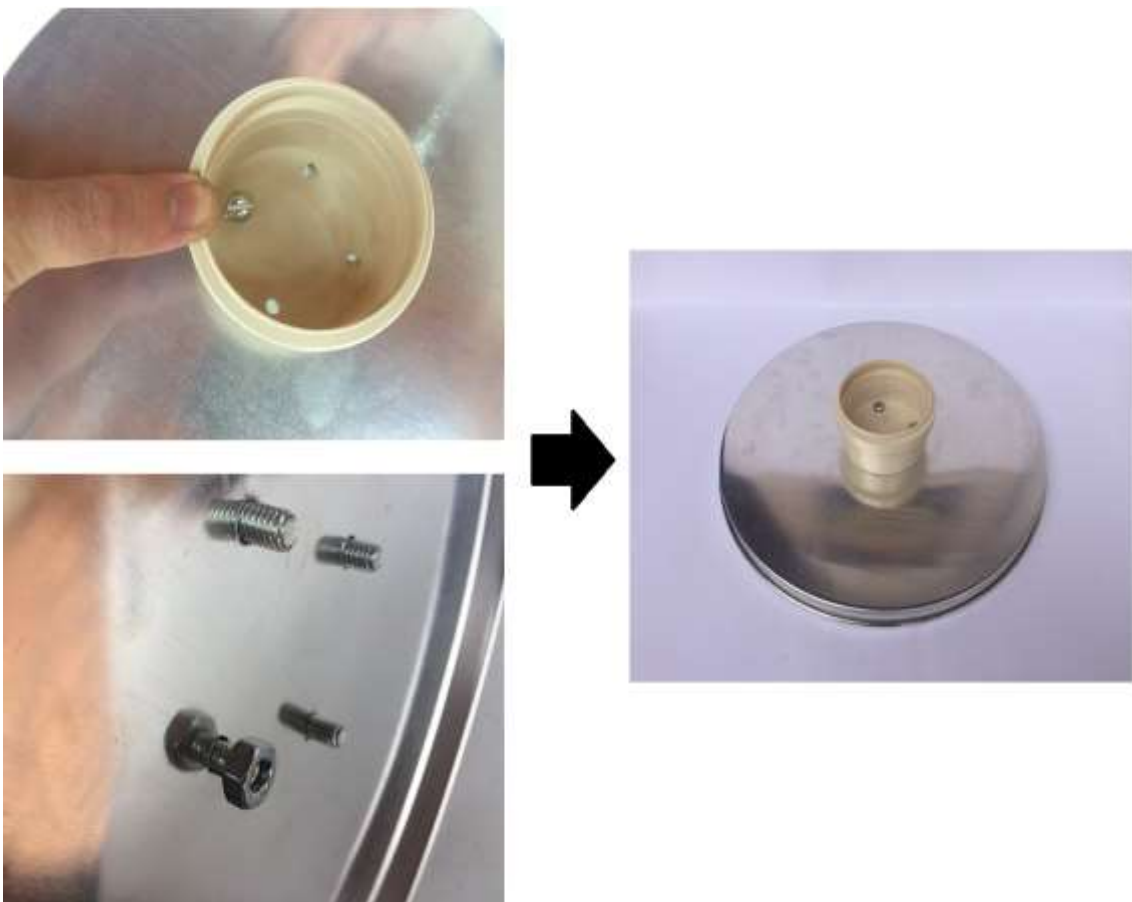
Execute agora, os furos na forma de pizza, utilizando a mesma broca que furou o cap (ver figura 3.71).





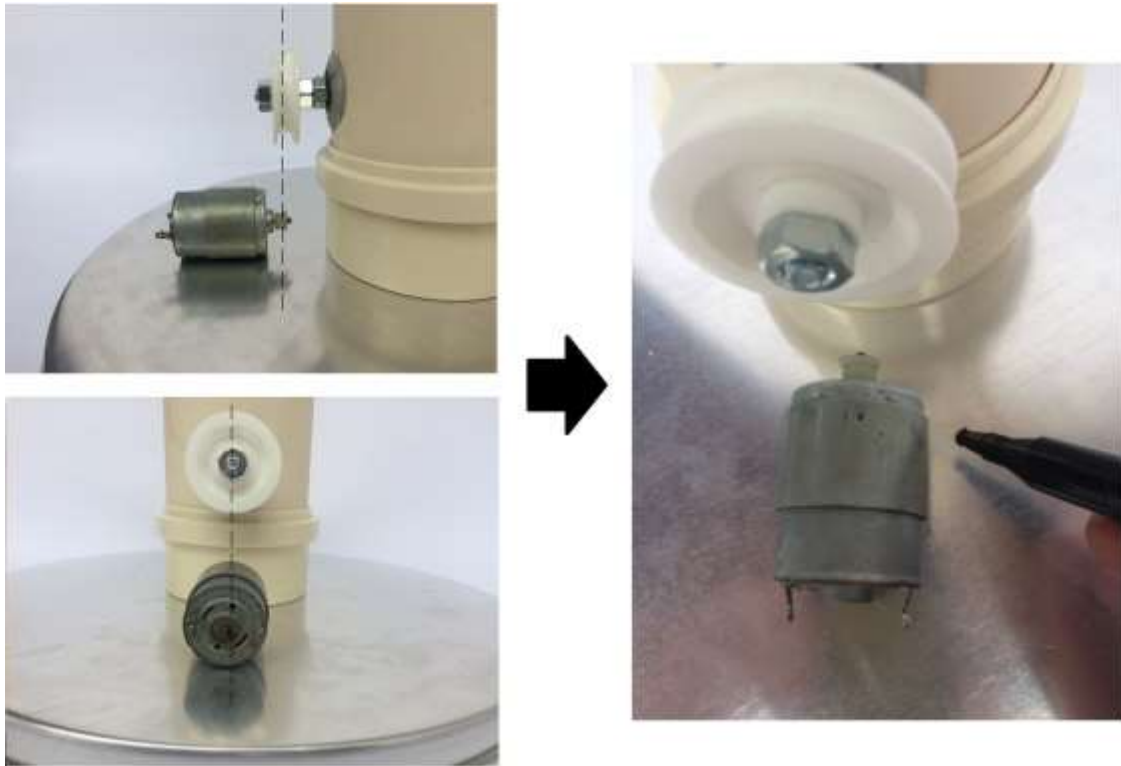
**Figura 3.71** – Execução dos furos na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Com os quatro parafusos fenda limão 1/4 x 1/2 e as quatro porcas de 1/4 prenda o cap à forma de pizza (ver figura 3.72).



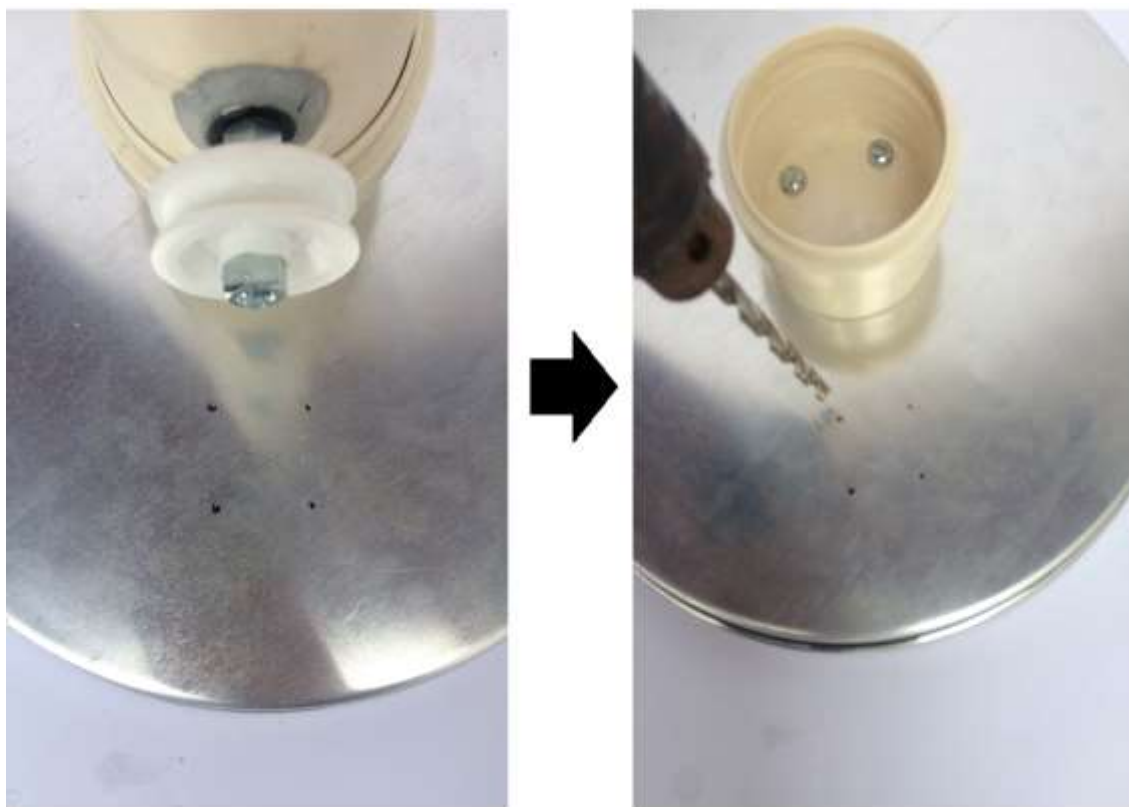
**Figura 3.72** – Fixação do cap na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

A seguir, vamos encaixar a peça da etapa 2 ao CAP que está preso à forma de pizza. Em seguida, coloque o motor de impressora 12V em cima da forma de pizza, de modo que a roldana plástica da coluna do GVG fique alinhada verticalmente sobre a roldana do motor (ver figura 3.73). Após verificar o alinhamento, faça as marcações onde furaremos e fixaremos o motor à forma de pizza.



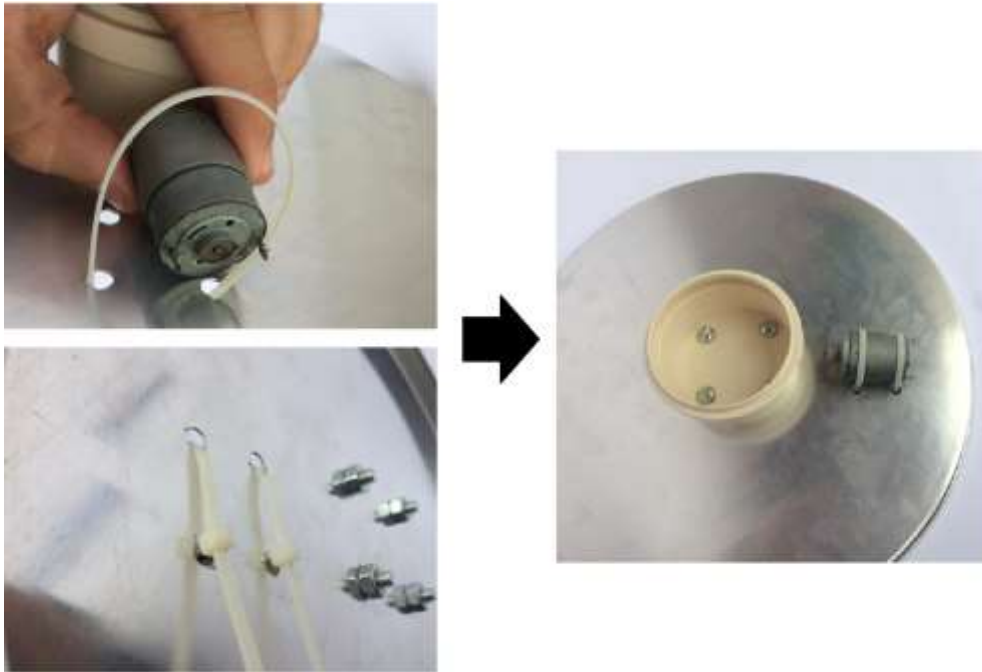
**Figura 3.73** – Posicionando o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Feitas as marcações, executaremos o furo na forma de pizza com a furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.74).



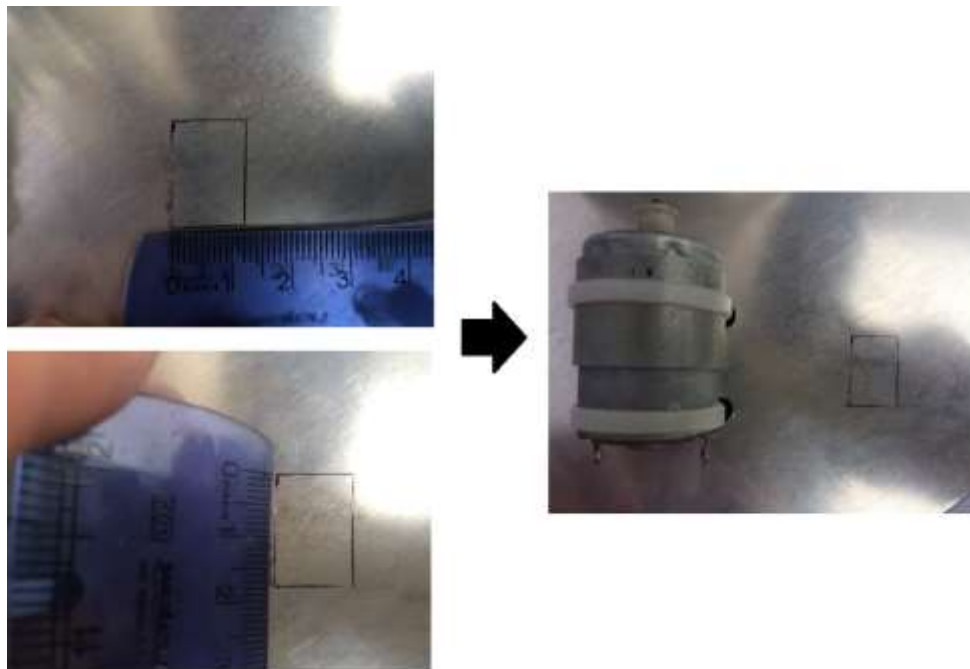
**Figura 3.74** – Execução dos furos para fixar o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Após furar, prenderemos o motor à forma de pizza utilizando duas abraçadeiras de plástico (ver figura 3.75).



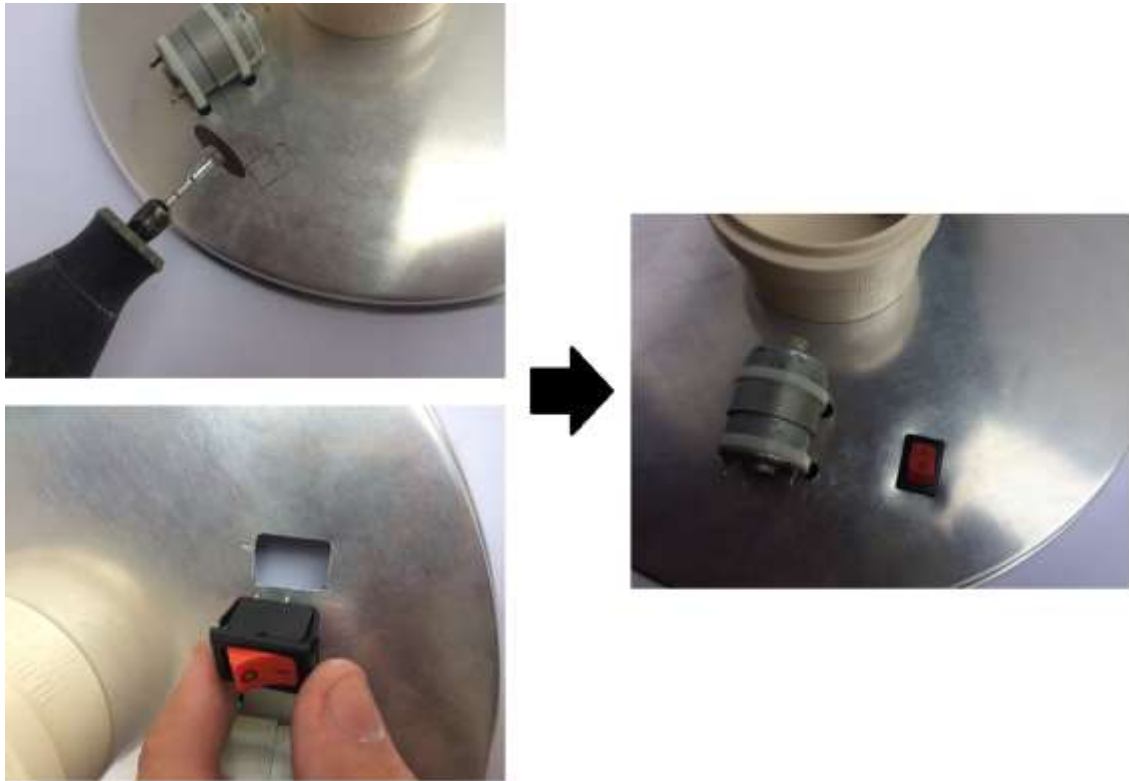
**Figura 3.75** – Prendendo o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Chegou a hora de incorporar a parte elétrica à base do nosso GVG. Começando pela chave margirius, desenharemos um retângulo de dimensões 1,2 cm x 1,8 cm ao lado do motor e sobre a forma de pizza (ver figura 3.76).



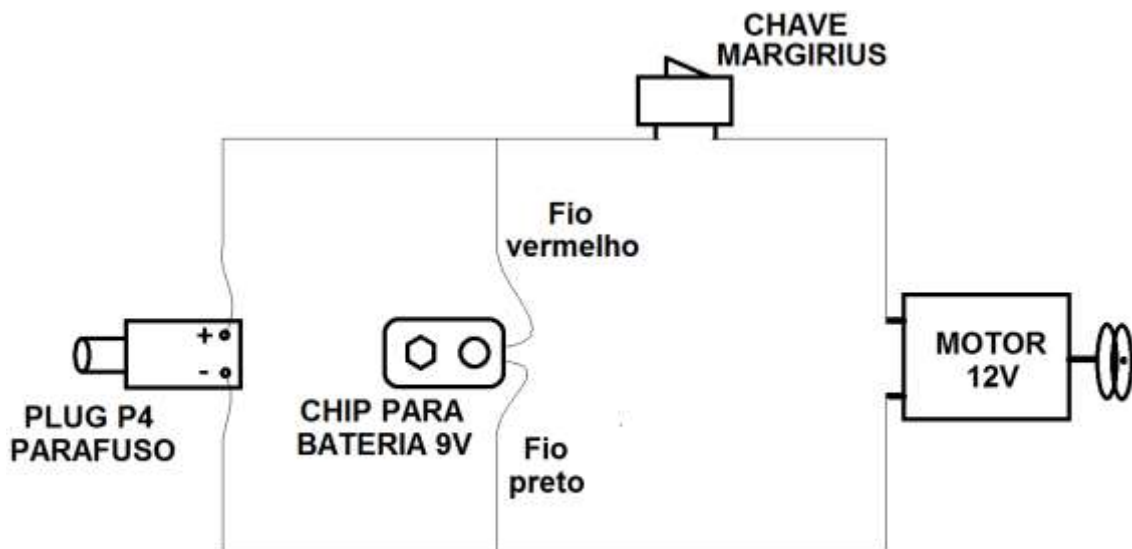
**Figura 3.76** – Fazendo a marcação para fixar a chave lig/desl. na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Utilizando uma serra circular de uma micro retífica, executaremos o corte na forma de pizza e encaixaremos a chave margirius na forma (ver figura 3.77).



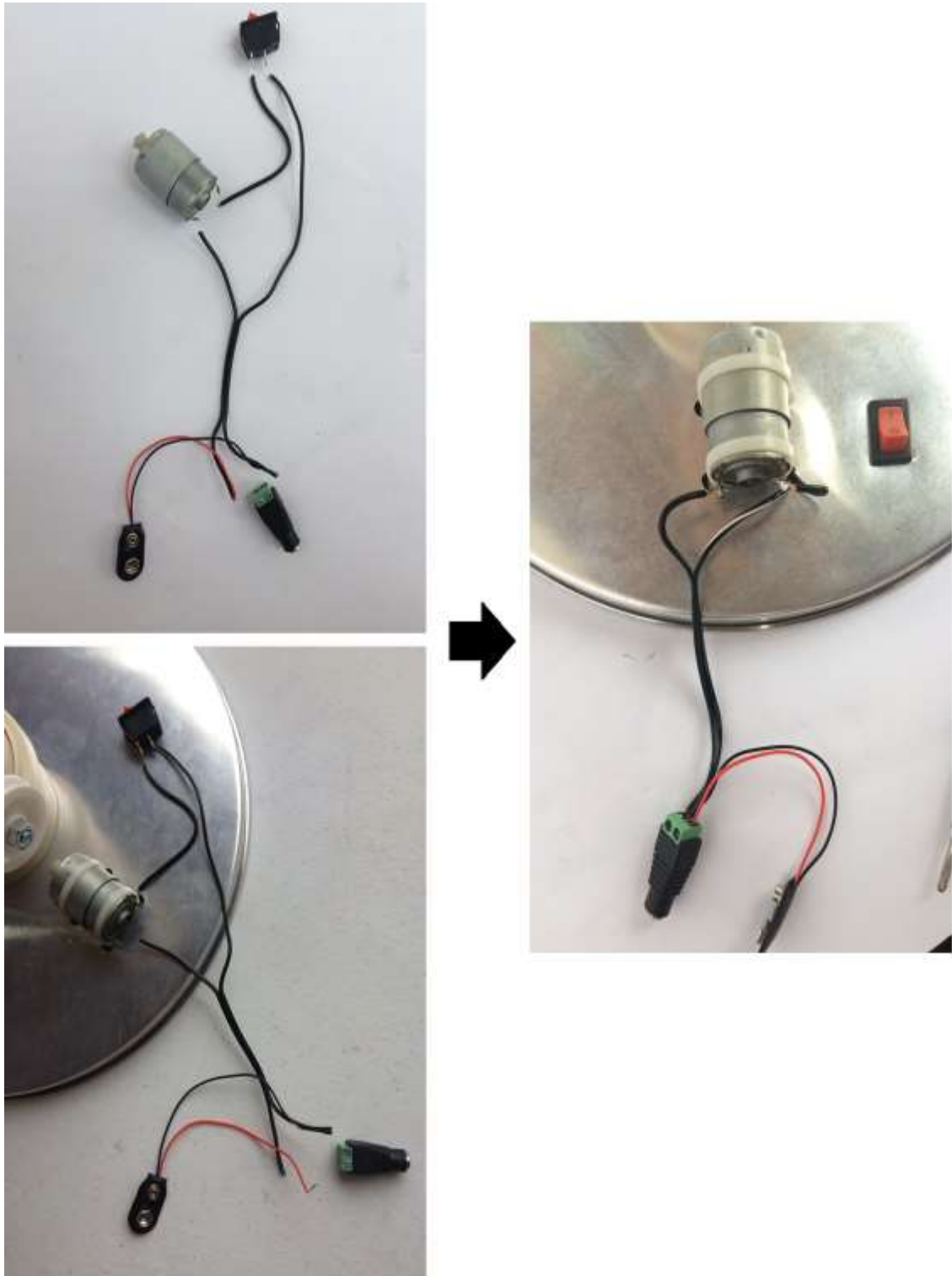
**Figura 3.77** – Execução do corte para fixar a chave margirius na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

As conexões entre os componentes elétricos (motor 12v, chave margirius, chip para bateria 9v e o Plug p4 parafuso) se dará através do fio paralelo 1mm e deverá respeitar o esquema ilustrado na figura 3.78.



**Figura 3.78** – Esquema elétrico para acionar o motor do GVG via Plug P4 ou bateria 9V. **Fonte:** O Autor.

Com o ferro de solda para eletrônica, solde os terminais do fio aos componentes eletrônicos. Na figura 3.79, temos uma sugestão para a “arrumação” do circuito elétrico.

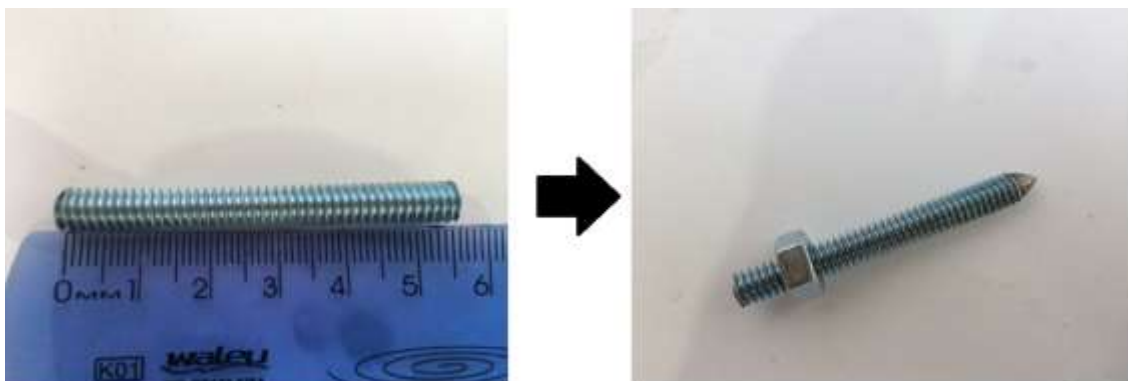


**Figura 3.79** – Sugestão para a arrumação da parte elétrica do nosso GVG. **Fonte:** O Autor.

Repare que o fio entre a chave margirius e o motor foi passado por baixo da forma de pizza.

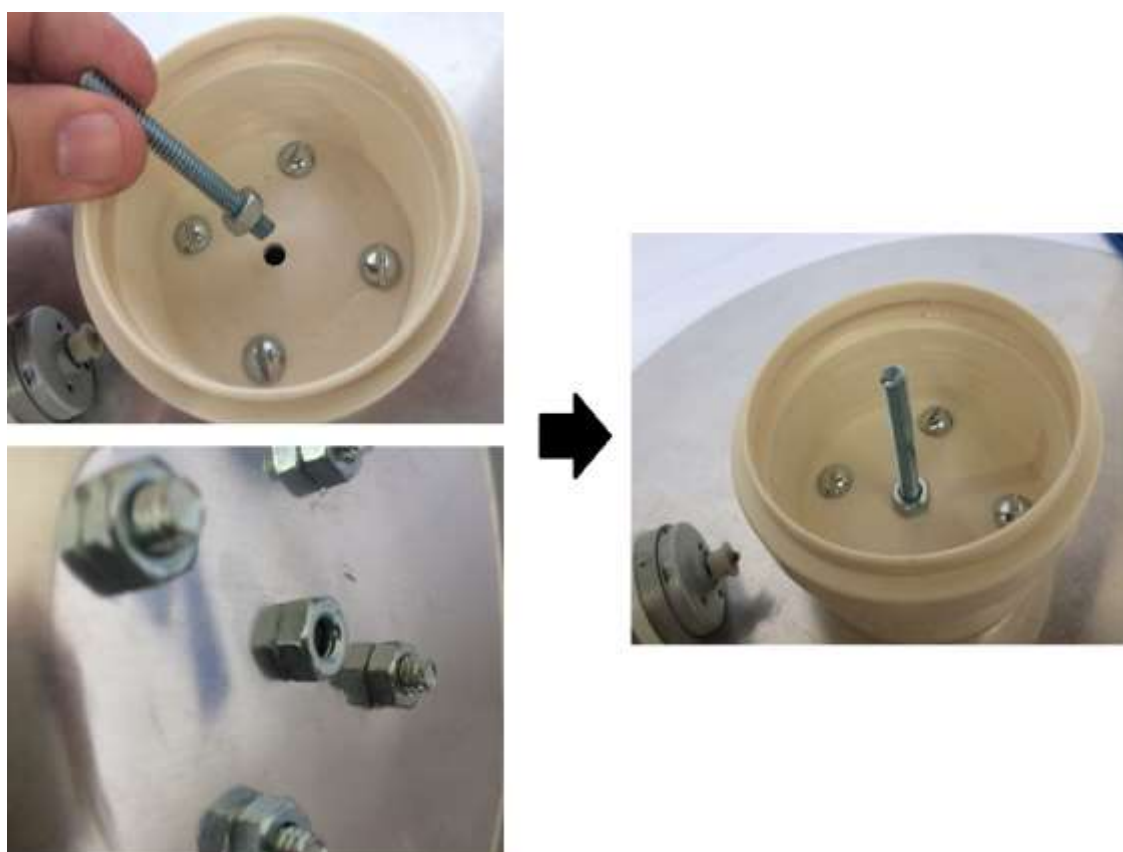
Para terminar essa etapa, falta apenas colocar o pino coletor de cargas inferior na base do GVG. Este ficará na vertical, no meio do cap fixo à forma de pizza.

Corte um pedaço de 5,5 cm da barra rosqueada de 1/4, faça uma ponta numa das extremidades e na outra coloque uma porca (ver figura 3.80).



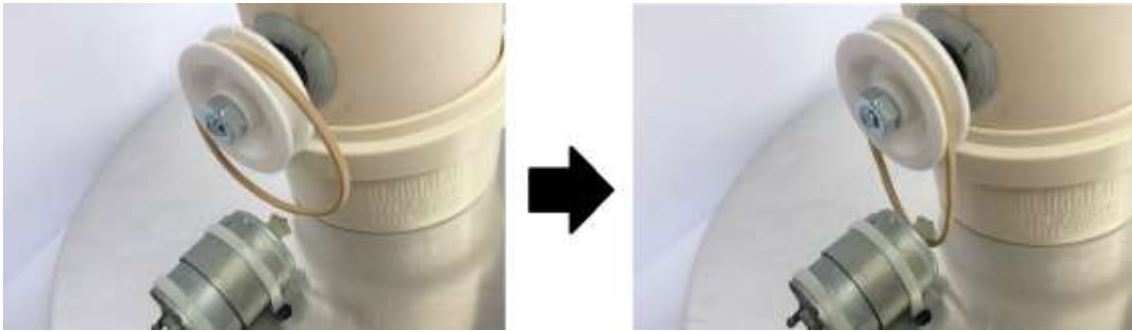
**Figura 3.80** – Confecção do pino coletor inferior do nosso modelo de GVG. **Fonte:** O Autor.

Faça um furo com a broca de 1/4 no centro do cap, encaixe a peça ilustrada pela figura 3.80 e a prenda com outra porca, que será rosqueada ao pino coletor pelo lado de baixo da forma de pizza (ver figura 3.81).



**Figura 3.81** – Fixando o pino coletor inferior no centro do cap. **Fonte:** O Autor.

Finalmente estamos finalizando a etapa 3 e também o nosso GVG; restando apenas os encaixes das peças feitas nas etapas 1, 2 e 3. Uma sugestão é começar encaixando a coluna do gerador à base e em seguida unir, pelo elástico, a roldana plástica do rolete inferior com a roldana do motor (ver figura 3.82).



**Figura 3.82** – Acoplando a roldana do motor à roldana do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Agora é só encaixar a esfera na parte superior da coluna e pôr o GVG para funcionar, com a fonte 12 V - 1 A ou com uma bateria 9 V.

Durante o processo de elaboração deste trabalho, meu orientador, o professor Dr. Helio Salim, construiu, paralelamente, o segundo modelo de GVG que é o propósito dessa dissertação. Neste modelo foram usadas cúpulas em tela fina, não pintadas, fabricadas em aço (ver figura 3.83).



**Figura 3.83** – O segundo modelo do nosso GVG. **Fonte:** O Autor.

A produção do GVG acima, prova a eficiência e o propósito dessa pesquisa.

## Capítulo 4 – Outros projetos, dificuldades e propostas experimentais

### 4.1 – Um depoimento pessoal: esse não foi o meu primeiro projeto de GVG!

Desde criança, a ciência me causa admiração e interesse. Por volta dos meus 10 anos de idade, sempre fui empenhado em desvendar como as coisas funcionam: seja desmontando brinquedos ou utilizando as ferramentas de meu avô. Sim! Meu avô foi um dos maiores incentivadores que eu tive em fazer ciência.

Apesar de não ter um vocabulário científico, Francisco Ferreira Alvarez, deixava eu utilizar as suas ferramentas para fazer carrinhos de rolimã e uma infinidade de experimentos físicos onde eu adquirir prática em manusear ferramentas, criatividade na construção de algo e sabedoria em determinados fenômenos físicos.

O meu primeiro GVG (ver figura 4.1) surgiu diante de todo esse ambiente familiar: fiquei encantado em saber (pelo meu tio Gil, que também era professor de física) que existia um aparelho que poderia arrepiar cabelos e soltar raios; assim sabido de minhas habilidades, investiguei o funcionamento do gerador e resolvi construir um (já que o comercializado era muito caro!). Então, ainda no Ensino Médio, consegui construir um GVG de manivelas utilizando canos de PVC, bacias de alumínio, rodas de bicicleta e pedaços de tábuas madeiras.



**Figura 4.1** – Meu primeiro modelo de GVG, acionado por manivela. **Fonte:** O Autor.



Assim como Van de Graaff, notei a necessidade em aperfeiçoar o primeiro modelo. Então adaptei um motor de ventilador no gerador (ver figura 4.2).



**Figura 4.2** – Aperfeiçoamento do primeiro modelo de GVG, adicionando um motor. **Fonte:** O Autor.

O GVG ficou tão bom que eu fiquei entusiasmado em levá-lo para a rua para mostrar aos meus amigos e vizinhos (ver figura 4.3).



**Figura 4.3** – Apresentação do primeiro modelo de GVG aos vizinhos e amigos. **Fonte:** O Autor.

Durante a minha graduação em física, tive a oportunidade de ver um GVG construído de maneira industrial. Analisando todos os detalhes desse gerador e adquirindo conhecimento em nível superior, construir um novo modelo: mais eficiente, moderno e de maior porte (ver figura 4.4).



**Figura 4.4** – Meu primeiro GVG após ingressar na faculdade. **Fonte:** O Autor.

Já como professor de Física para o Ensino Médio, levei muitas vezes o GVG acima para auxiliar às minhas aulas de eletrostática. Porém, notei que era muito sacrificante transportá-lo até a escola devido ao seu tamanho e peso. E assim surgiu a ideia em projetar o GVG que é o foco desse trabalho; essa nova máquina deveria ser mais leve e portátil.

## **4.2 Dificuldades encontradas**

Durante todo esse processo, eu tive algumas dificuldades na aquisição de algumas partes do GVG, devido a indisponibilidade no mercado!

A primeira das dificuldades, foi com a correia do gerador. Nos primeiros modelos, foram utilizados câmara de ar para pneus de bicicleta e balões de festa (látex); o que não se mostraram eficientes.

A solução encontrada foi uma faixa elástica que eu encontrei após levar a minha avó na fisioterapia (ver figura 4.5).



**Figura 4.5** – Faixa elástica. **Fonte:** O Autor.

A obtenção das cúpulas esféricas do GVG foi um outro desafio. Não temos ao nosso alcance fábricas de esferas metálicas e se tivermos, elas são extremamente caras. Com isso o recurso era adaptar tigelas metálicas, formas de pudim ou algo similar.

É notável que adquirir uma esfera perfeita para o GVG é importante pois deixa o campo elétrico isotrópico, minimizando assim fugas de cargas (efeito corona). Assim uma das soluções foi algumas esferas de aço utilizadas para decoração, fato que eu observei quando estive em um supermercado (ver figura 4.6).



**Figura 4.6** – Esferas de aço. **Fonte:** O Autor.

O problema é que essas esferas saíram de moda e hoje em dia é difícil de encontrá-las.

Uma nova solução foi usar lustres de alumínio com formato de meia esfera. Esses são facilmente encontrados em lojas do ramo, com tamanhos variados (ver figura 4.7).



**Figura 4.7** – Lustres semiesféricos feitos de alumínio. **Fonte:** O Autor.

O problema neste caso é que eles são muito caros. Então a solução definitiva veio quando eu observei um bolo, feito pela minha esposa, que estava protegido através de uma tela metálica em formato de meia esfera (ver figura 4.8).



**Figura 4.8** – Telas protetoras de alimento. **Fonte:** O Autor.

Além de ser bem baratas, essas telas protetoras de alimentos são facilmente encontradas, leves e transparentes, fato que possibilita fazer experimentos no seu interior.

### 4.3 - Algumas propostas experimentais

#### 4.3.1 - Blindagem eletrostática

Nesta proposta podemos desenvolver uma atividade, aproveitando a transparência da esfera do gerador, afim que o aluno note que o campo elétrico no interior de um condutor fechado é nulo. Uma sugestão é pendurar, em fio condutor e rígido, duas folhas de papel alumínio; uma dentro e outra fora da esfera metálica (ver figura 4.9).



**Figura 4.9** – Experimento com o GVG: Blindagem eletrostática. **Fonte:** O Autor.

Pela figura 4.9, podemos notar que, ao ligar o gerador, a folha de fora se abre enquanto a de dentro fica inerte indicando que não está carregada eletricamente.

#### 4.3.2 - Linhas do campo elétrico, diferença de potencial e superfícies equipotenciais

Nesta proposta, podemos desenvolver uma atividade no qual o aluno observe a formação das linhas do campo elétrico ao redor de uma carga pontual, junto com a diferença de potencial e esclarecer o que seja uma superfície equipotencial.

Uma sugestão, que poderia ser uma problematização, é mostrar para os alunos um vídeo da internet cujo endereço eletrônico é:

<https://www.youtube.com/watch?v=5r1BTKPAmm0>.

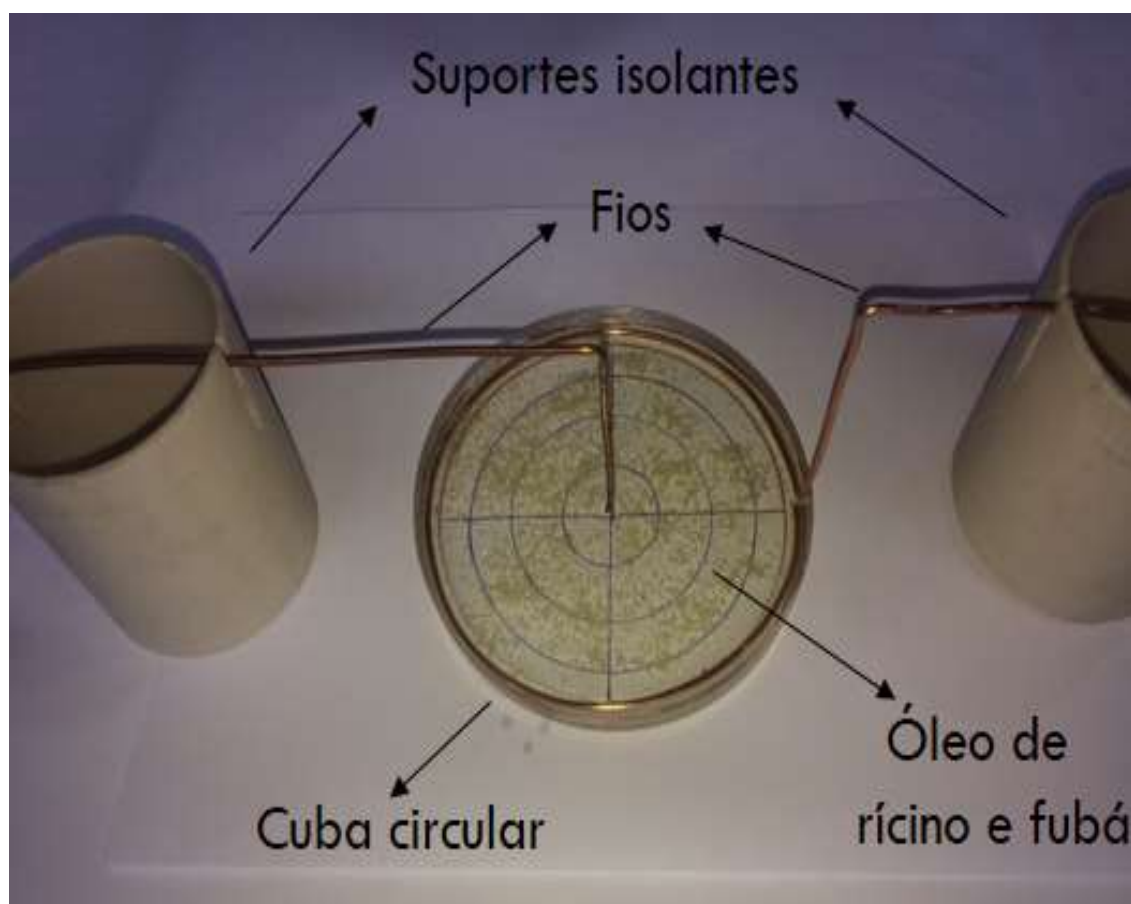
O vídeo ilustra como um motorista de um carro deve reagir se houver um fio de alta tensão sobre a lataria do veículo.

Após assistirem o vídeo, os alunos notarão que para se salvar, o motorista sai do carro e caminha em passos bem curtos. Diante desse fato, podemos discutir com eles a seguinte questão:

### **Qual é a razão de andar com os pés juntos?**

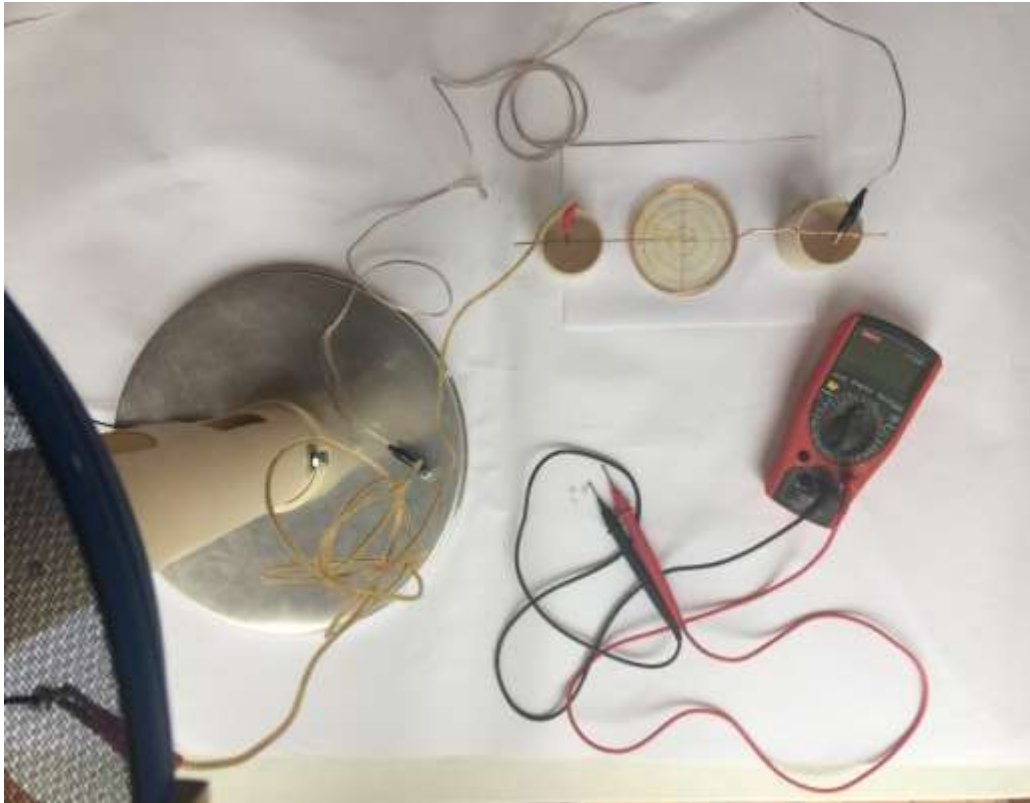
Posteriormente, com o auxílio do nosso GVG, desenvolvemos a seguinte experimentação, utilizando óleo de rícino, fubá, cuba redonda, fios e multímetro:

- 1) Com a montagem ilustrada pela figura 4.10, derrame o óleo de rícino na cuba circular e depois polvilhe o fubá sobre o óleo. Desenhe círculos concêntricos em baixo da cuba.



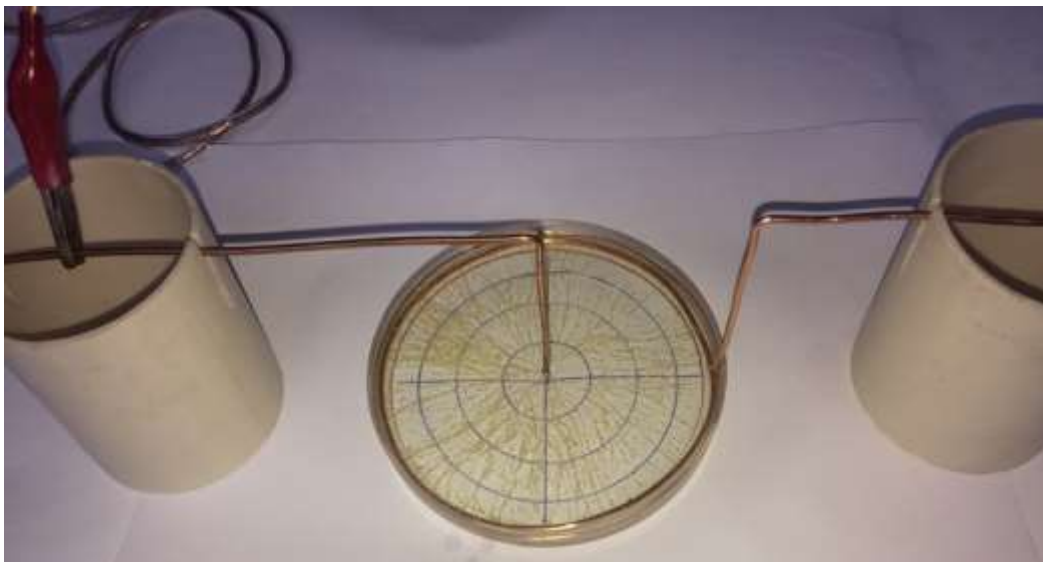
**Figura 4.10** – Montagem experimental dos componentes. **Fonte:** O Autor.

- 2) Conecte o fio que está no centro da cuba à esfera do gerador e o outro na base (ver figura 4.11).



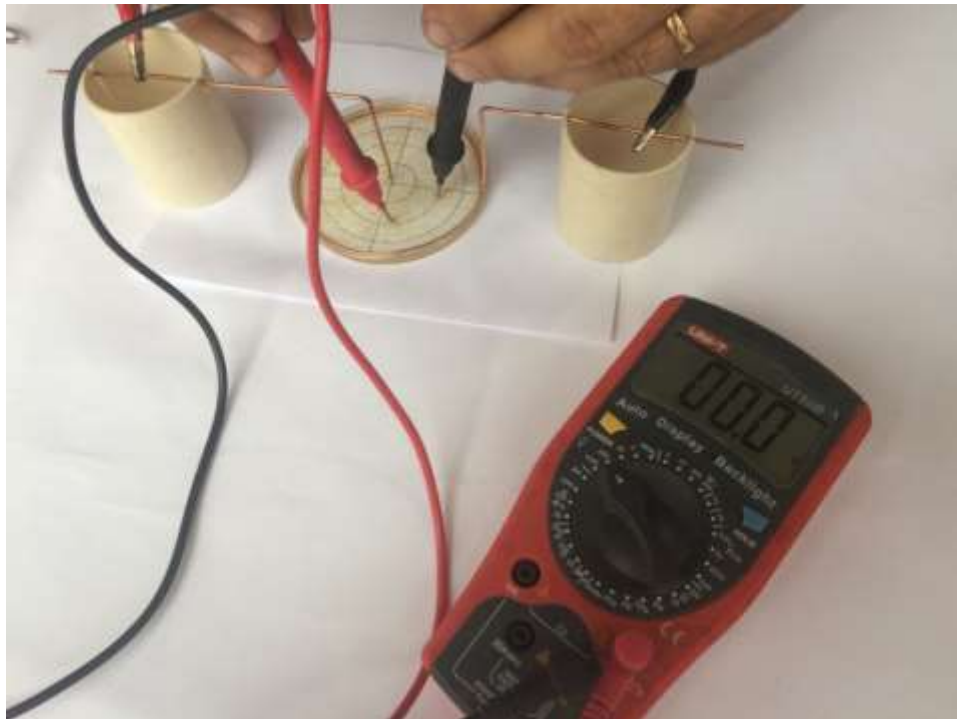
**Figura 4.11** – Montagem experimental entre os componentes e o GVG. **Fonte:** O Autor.

- 3) Ligando o gerador, observa-se as linhas do campo elétrico desenhado pelo fubá sobre o óleo (ver figura 4.12).



**Figura 4.12** – Visualização das linhas de campo elétrico. **Fonte:** O Autor.

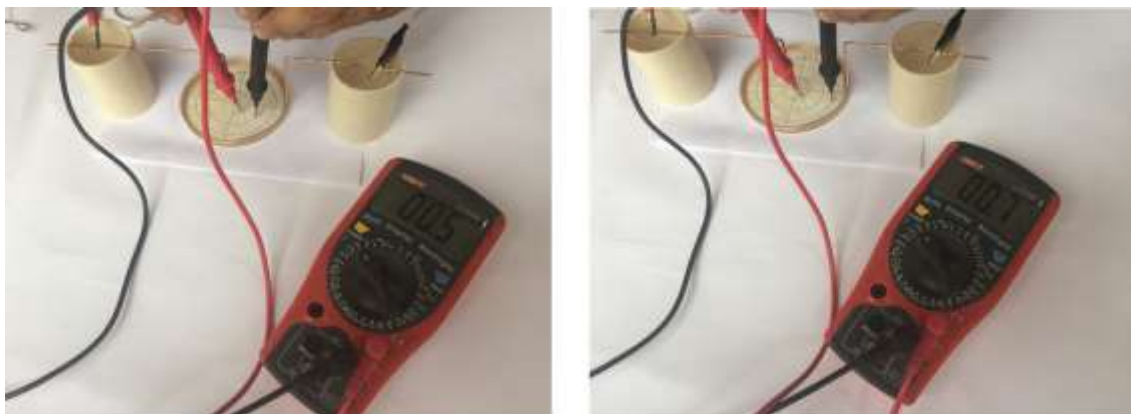
- 4) Agora, vamos introduzir os assuntos sobre DDP e superfícies equipotenciais; para isso, colocamos as ponteiros do multímetro (que deverá estar na opção voltímetro) sobre um mesmo arco de circunferência (ver figura 4.13).



**Figura 4.13** – DDP entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial. **Fonte:** O Autor.

É observável, pela fotografia acima, que a diferença de potencial é nula, pois as ponteiros estão sobre o mesmo arco.

- 5) Colocando as ponteiros do multímetro em arcos diferentes, observa-se, pelas figuras abaixo, que há uma leitura e que essa leitura é maior quanto maior for a distância entre esses arcos (ver figura 4.14).



**Figura 4.14** – DDP entre dois pontos de duas superfícies equipotenciais. **Fonte:** O Autor.

Voltando à pergunta inicial, podemos relacionar, junto aos alunos, o que foi visto pelo vídeo e experimentalmente; e concluir que caminhar com os pés juntos é recomendável, pois haverá a menor diferença de potencial possível e, conseqüentemente, uma menor corrente elétrica fluindo pelo corpo da pessoa.



## Capítulo 5 – Considerações finais

O intuito deste trabalho foi construir um gerador eletrostático do modelo de Van de Graaff feito com material alternativo e de baixo custo, e que sua aplicação nas aulas de eletrostática, contribuísse com o ensino aprendizagem, através da aprendizagem significativa.

Também foi pensado na facilidade de aquisição desse gerador pelo professor para que se contribua significativamente na melhoria do ensino, pois sua inserção nas aulas facilitará a mediação dos conceitos físicos, bem como a assimilação dos conteúdos da eletrostática.

Desta forma, deixa-se um roteiro com a descrição dos componentes e montagem do gerador, bem como, uma proposta experimental para melhor delineamento da aplicação do produto educacional, podendo ser seguido passo a passo pelo professor, ou aprimorá-la, conforme julgar conveniente ao ambiente de aplicação.

Como docente no Colégio Estadual Ministro José de Moura e Silva e no Centro Educacional Pereira Rocha, tive a oportunidade de apresentar o nosso modelo de GVG aos alunos do ensino médio. Tanto no ensino público como no privado sempre constatei um grande interesse e fascínio pelo gerador e pelos fenômenos elétricos associados. Dessa forma, é conclusivo, que após essas demonstrações (ver figura 5.1) os alunos ficam motivados aos assuntos curriculares de eletrostática.

Enfim, com base no que foi relatado acima, espera-se que este trabalho sirva para alavancar o ensino aprendizagem dos conteúdos da eletrostática e que outros colegas de profissão possam utilizar-se dessa pesquisa para construir novas metodologias. Dessa forma, espera-se que os educadores a utilizem em uma nova situação de aprendizagem, fazendo as adaptações que julgarem necessárias para sua inovação.



**Figura 5.1** – Apresentação do nosso modelo de GVG nas escolas. **Fonte:** O Autor.

## Referências Bibliográficas

[Bonjorno 2005] J. R. Bonjorno, física: história & cotidiano. 2. ed. São Paulo: FTD, p. 463 - 465, 2005.

[Cordova 2016] H. P. Corvada, Construção de um interferômetro de Michelson e aplicações ao ensino de óptica, Tese de Mestrado, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRJ (2016).

[Cruz 2011] C. H. B. Cruz, Rev. Latinoam. Psicopat. Fund., v.14, n.1, p.11-13, Mar. 2011.

[Gomes 2018] A. Raab e E. B. Gomes, Maker: uma nova abordagem para tecnologia na educação, Revista Tecnologias na Educação – Ano 10 – Número / Vol.26 - Edição Temática VIII – III Congresso sobre Tecnologias na Educação (Ctrl+E 2018), 2018.

[Levatter and Stong 1971] J. Levatter and C. L. Stong, 'The Amateur Scientist: a carbon dioxide laser is constructed by a high school student in California', Scientific American, 225 (3), p. 218-24, Sep 1971.

[Medeiros e Bezerra 2000] A. Medeiros e Bezerra Filho, S. Ciência & Educação, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.

[Nogueira 2001] N. R. Nogueira, Pedagogia dos Projetos, Uma jornada interdisciplinar rumo ao desenvolvimento das múltiplas inteligências, São Paulo: Érica, p. 36, 2001.

[Novak 1996] J. D. Nonak, Aprender a aprender, Plátano Edições Técnicas, Lisboa (1996).

[Stong 1965(a)] C. L. Stong, "The Amateur Scientist", Heinemann Educational Books Ltda., London, 1965(a).

[Stong 1964] C. L. Stong, 'The Amateur Scientist: how a persevering amateur can build a gas laser in the home', *Scientific American*, 211 (9), p. 127-34, Sep 1964.

[Stong 1970] C. L. Stong, 'The Amateur Scientist: how to construct a dye laser', *Scientific American*, 222 (2), p. 116-23, Feb 1970.

[Stong 1969] C. L. Stong, 'The Amateur Scientist: how to construct an argon gas laser with outputs at several wavelengths', *Scientific American*, 220 (2), p. 118-25, Feb 1969.

[Stong 1965] C. L. Stong, 'The Amateur Scientist: more about the home-made laser', *Scientific American*, 213 (12), p. 106-13, Dec 1965.

# ANEXO I

## PATENTE ORIGINAL DE ROBERT JEMISON VAN DE GRAAFF

Feb. 12, 1935.

R. J. VAN DE GRAAFF

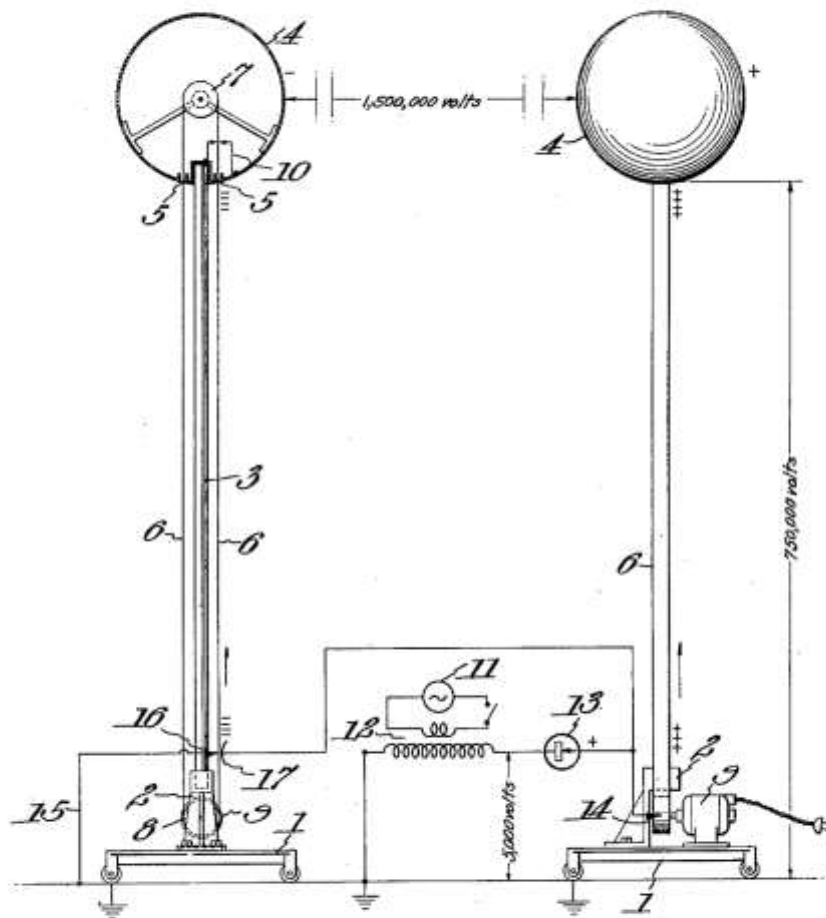
1,991,236

ELECTROSTATIC GENERATOR

Filed Dec. 16, 1931

4 Sheets-Sheet 1

*Fig. 1.*



Inventor:

*Robert J. Van de Graaff,*

*By Cyrus Dornmud & Potter,*  
Attorneys.

Feb. 12, 1935.

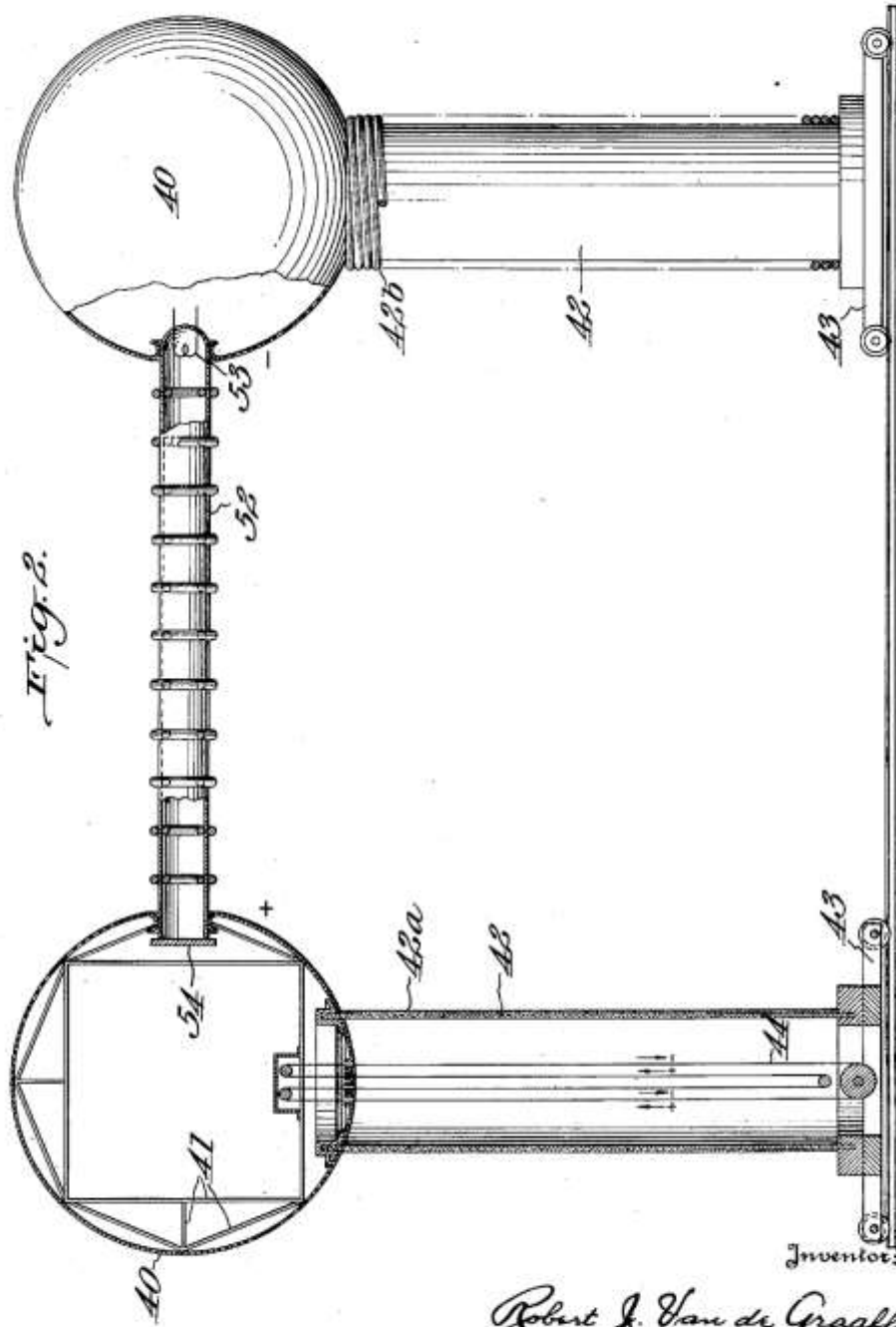
R. J. VAN DE GRAAFF

1,991,236

ELECTROSTATIC GENERATOR

Filed Dec. 16, 1931

4 Sheets-Sheet 2



Robert J. Van de Graaff,  
By *Byrnie Townsend & Potter,*  
Attorneys.

Feb. 12, 1935.

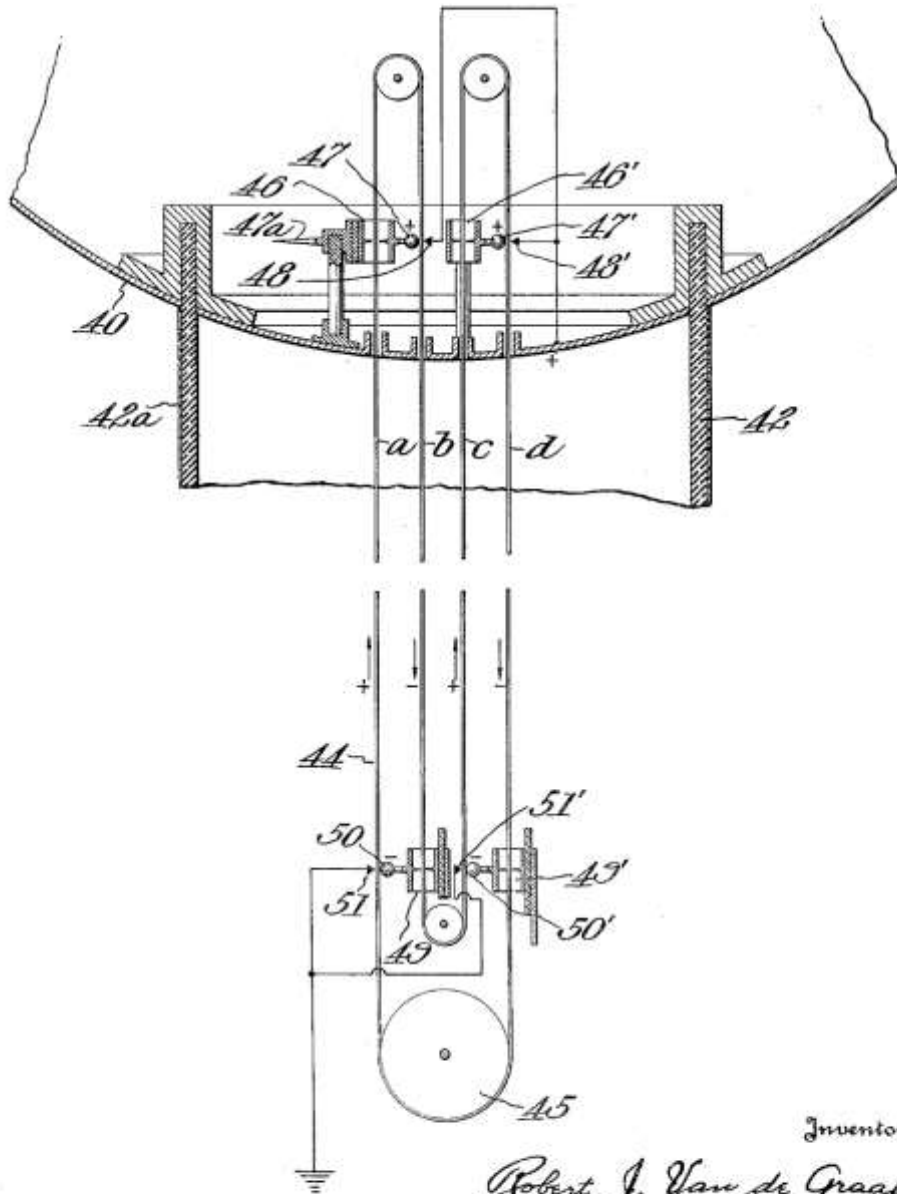
R. J. VAN DE GRAAFF  
ELECTROSTATIC GENERATOR

1,991,236

Filed Dec. 16, 1931

4 Sheets-Sheet 3

*Fig. 3.*



Inventor:

*Robert J. Van de Graaff,*

*By* *Byrnie Dowmond & Potter,*  
Attorneys.

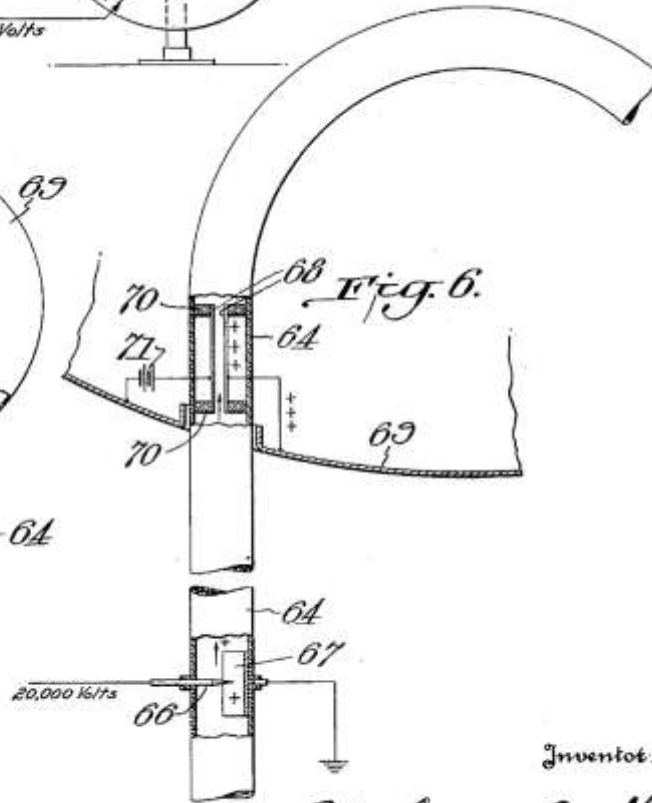
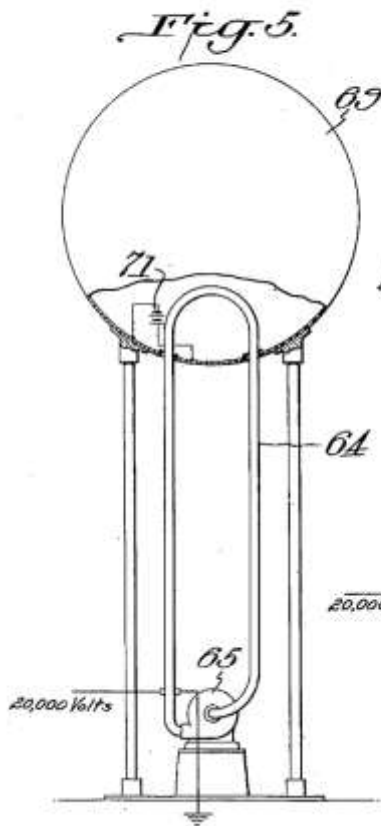
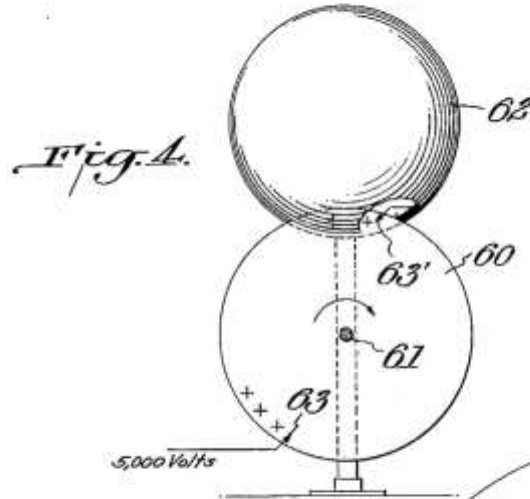
Feb. 12, 1935.

R. J. VAN DE GRAAFF  
ELECTROSTATIC GENERATOR

1,991,236

Filed Dec. 16, 1931

4 Sheets-Sheet 4



Inventor:

*Robert J. Van de Graaff,*

*By* *Byrne, Dawson & Potter,*  
Attorneys.



# UNITED STATES PATENT OFFICE

1,991,236

## ELECTROSTATIC GENERATOR

Robert J. Van de Graaff, Cambridge, Mass., assignor to Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., a corporation of Massachusetts

Application December 16, 1931, Serial No. 581,499

53 Claims. (Cl. 171-329)

This invention relates to electrostatic generators for the production of direct current voltages, and also to apparatus including an electrostatic generator and the electrical device, such as an X-ray tube, operated thereby.

Influence machines of the general types designed by Holtz and Wimshurst have been employed in the production of direct current potentials, but the output voltages have been restricted to relatively low values. The presence of the conducting wires or bodies required to transfer the electrical charges from the rotating disks to the generator terminals facilitates leakage and limits the maximum voltage that may be established between the generator terminals.

Higher potentials may be obtained by the rectification of alternating current but apparatus of this type is quite costly and, as with influence machines, the maximum available voltage is limited. So far as I am aware, the maximum steady direct current voltage attained by prior workers in this art was about 700,000 volts, and was obtained by the rectification of alternating current.

An object of this invention is to provide an electrostatic generator which will produce steady, direct current voltages of an order substantially higher than any previously obtained by influence machines and/or the rectification of alternating current. An object is to provide a generator in which the electrical charges are established directly upon the electrodes or terminals, as distinguished from prior influence machines in which the charges were collected upon a system of conductors leading to the electrodes. A further object is to provide an electrostatic generator having electrodes in the form of hollow bodies, and non-conducting charge carriers which transfer charges between the interior of the hollow electrodes and a grounded point. More specifically, an object is to provide an electrostatic generator including two hollow electrodes supported on insulator columns, and a charge carrier for each electrode, the charge carriers having the form of silk belts passing over pulleys within the electrodes and driven by motors located at the base of the insulator columns. Other specific objects relate to the provision of high voltage apparatus combining generators of the types stated with the high potential electrical apparatus to be energized thereby.

These and other objects of the invention will be apparent from the following specification

when taken with the accompanying drawings, in which,

Fig. 1 is a side elevation, with parts in section, of one embodiment of the invention,

Fig. 2 is a side elevation of a combined generator and X-ray tube installation, the generator being adapted to produce potentials of the order of several million volts,

Fig. 3 is a diagrammatic view of the charge transferring system of the generator shown in Fig. 2,

Fig. 4 is a side elevation, with parts in section, showing a unit having a charge carrier of disk form,

Fig. 5 is a somewhat diagrammatic fragmentary side elevation, with parts in section, of a unit having a fluid charge carrier, and

Fig. 6 is an enlarged fragmentary view of the carrier system of Fig. 5.

Two substantially identical units are shown in Fig. 1, the units being turned at right angles to each other for the better illustration of the structural details at the base of the units. Each unit includes a wheeled supporting base 1 to which is secured a bracket 2 that carries an insulator column 3. The insulators 3 may be, and preferably are, glass rods of a height sufficient to provide adequate insulation between the grounded base 1 and hollow electrodes 4 that are mounted on the rods 3. The exterior surfaces of the electrodes 4 are free from projections or points which would promote leakage and, in general, will be of spherical form.

The lower portion of each electrode is provided with slots 5 for passage of a non-conducting belt 6 that passes over a pulley 7 mounted within the electrodes 4 and a conducting pulley 8 that is located at and driven by a motor 9 on the base 1. The belt 6 is non-conducting and may be silk or a fabric treated with a non-conducting flexible plastic, such as a cellulose ester. Interposed between the two runs of each belt is a solid insulating medium, herein of glass, and comprising the glass rod 3. Within the electrode, brushes or combs 10 are provided adjacent the belt 6, the brushes being electrically connected to the interior of the electrode.

The belts 6 constitute the charge carriers which transfer to the electrodes the electrical charges which are established at the lower ends of the belts. The apparatus for charging the belts is shown diagrammatically in Fig. 1, as an alternating current source 11, a transformer 12, and a rectifier 13 in the secondary circuit of the transformer. The terminal of the secondary which is

negative, during cycles when rectifier 13 is conductive is connected to ground and the positive terminal of rectifier 13 is connected to a brush electrode 14 adjacent the portion of the upward run of belt 6 where it engages the lower pulley of the positive electrode unit. At the negative electrode unit, a conductor 15 extends from ground to a brush electrode 16 that is adjacent the lower portion of the upward run of the belt and directly opposite the rounded electrode 17 that is connected to the positive terminal of the rectifier 13. The electrical charges placed on the belts by this low voltage circuit are indicated by the + and - signs adjacent the belts.

It will be apparent that, as each charged belt passes by the brushes 10, the charge passes from the belt to the brush, and thence to the interior surface of the electrode 4. As charges can not remain upon the interior surface of a hollow body, the electrical charges pass to the exterior surfaces of the electrodes. The fact that charges will not accumulate at the interior surface makes it possible to increase the charge or voltage on the electrodes 4 to a value determined only by the form and location of the electrodes. The maximum voltage that may be established between electrodes 4 is limited by the sharpest maximum curvature of the electrode surfaces, and by the spacing of the electrodes from each other and from ground, i. e., from the conducting brackets 2 which carry the rod insulators 3.

The legends applied to Fig. 1 indicate the voltages obtained with one particular generator in which the electrodes 4 were twenty-four inch spheres mounted on seven foot glass rods. With spherical electrodes of this size, leakage from the electrode restricts the maximum voltage on the electrode to about 750,000 volts, thus limiting the voltage between the oppositely charged electrodes to about 1,500,000 volts. The belts 6 were of silk and the rectifier charging system established a relatively low voltage of about 5,000 volts between each brush and its corresponding rounded electrode.

This external source of relatively low voltage for charging the belt is illustrated in the drawings to facilitate a more ready understanding of the method of operation of the device but it will be understood that the machines may be made self-exciting, in which case they may be primed by small stray charges generated by friction or otherwise. Furthermore, it will be apparent that each unit can be made to operate as a motor if a high potential difference is established between the electrode 4 and its grounded base. For example by moving the units to bring the electrodes 4 into contact, and operating the motor 9 of one unit to establish a high potential upon the electrodes, the belt 6 of the other unit will be driven as the electrical charges move upwardly from the grounded base to neutralize the charge established in that unit.

A little consideration of the described apparatus will show that, by decreasing the curvature of the electrode surfaces and increasing the insulation between each electrode and ground, higher voltages may be obtained. The absence of conducting paths between the electrodes, and the transfer of charges to the interior surfaces of the electrodes make it possible to increase the voltages to values of an order not obtainable with any known type of direct current generator.

A generator system operative to produce voltages of the order of several million volts is illustrated in Fig. 2. For convenience of description,

it will be assumed that a maximum voltage of about 10,000,000 volts is to be produced between the spherical electrodes 40, i. e., a potential difference of about 5,000,000 volts between each electrode and ground. The electrodes take the form of a thin conducting shell 40 that is supported by an interior framework 41, the conducting shell being free from surface irregularities or projections and having a diameter of about 10 feet. The insulator columns 42 which support the electrodes 40 on the movable bases 43 may be tubular sleeves of non-conducting material, for example, paper or wood veneer impregnated with shellac or an artificial resin. Adequate insulation will be provided when the insulator columns have a length of about fifteen feet.

To insure most efficient operation it is highly desirable to maintain a uniform potential gradient between the electrode and ground along the supporting column 42. This condition will obtain when the insulating support presents high conductivity in horizontal planes and a controlled resistance in vertical planes along the column. By providing a conductive coating upon the surface of the column, the coating being of substantially constant but relatively low conductivity, the leakage flow of current will establish a uniform potential gradient along the column and, since the potential will be substantially constant over any horizontal plane, the lines of force in the space within the column will be substantially linear and parallel to the axis of the column. This leakage coating may take the form of a paint or varnish layer 42<sup>a</sup>, of low conductivity, as shown in Fig. 3 and at the left of Fig. 2, or it may comprise a cord or thread 42<sup>b</sup> that is rendered slightly conductive by treatment with graphite or India ink, and is wound spirally around the column 42, as shown at the right of Fig. 2.

The gradual potential gradient down the insulating column tends likewise to produce a lowering of the electric field at points on the spherical electrode adjacent the entering portion of the column 42, thus resulting in the location of the most concentrated electric field at a region of the electrode remote from the supporting column.

The charge conveyor system may be of the type previously described but, as illustrated, includes a more efficient arrangement in which the carrier belt 44 is doubled back to provide a plurality of upward runs. The current carrying capacity of such a belt is, for a given belt width, equivalent to that of two simple belts of the type shown in Fig. 1. This method of increasing the current output may be carried further by doubling the charge carrier back and forth to provide additional sections of one upward and one downward run. The current output may also be increased by the use of wider charge carriers or higher carrier speeds.

The collector brushes within the electrodes 40 are insulated from the electrode and the potential difference between the brush and electrode is employed to place on the belt, just before it leaves the hollow electrode, a charge of opposite sign to that brought to the electrode by the belt. The belt does double duty by not only bringing to the electrode charges of one sign but also by carrying away charges of the opposite sign.

As best shown in the diagrammatic view, Fig. 3, the upward run *a* of belt 44 passes through a sleeve or brush electrode 46 that is supported within but insulated from the hollow electrode. The brush electrode 46 is connected to a rounded terminal

47 that is positioned adjacent the downward run b of the belt and opposite a brush or comb electrode 48. A similar arrangement of a brush electrode 46', rounded terminal 47' and brush 48' is provided for the runs c and d of the other section of the belt. The brush electrodes 48, 48' are connected to each other and to the interior of the electrode 40. At the lower end of the belt, brush electrodes 49, 49' are positioned adjacent the runs b and d, respectively, of the belt and are connected to rounded terminals 50, 50' adjacent the corresponding upward runs. Brush electrodes 51, 51' are positioned at the opposite faces of the upward runs for cooperation with the rounded terminals, the brushes 51, 51' being connected to each other and to ground.

If the electrode 40 is to be given a positive charge, the upward runs a and c of the belt 44 carry positive charges to the interior of the electrode. These charges are removed from the belt by the brush electrodes 46, 46', thus placing positive charges on the rounded terminals 47, 47'. The difference of potential thus established between these rounded terminals and the brush electrodes 48, 48' causes a corona or brush discharge from the electrodes 48, 48' thus liberating negative charges that are drawn toward the rounded terminals and, being intercepted by the non-conducting belt 44, some or all of these negative charges are carried away by the departing run of the belt. Obviously, this withdrawal of negative charges from the spherical electrode 40 has the effect of increasing the positive potential of that electrode with respect to ground. At the lower portion of the belt, a similar action places positive charges on the upward runs a, c, respectively.

In the event that the corona discharge from brushes 48, 48' does not fully neutralize the positive charges arriving on the terminals 46, 46' from the belt, the potential difference between the interior or neutral surface of the spherical electrode 40 and the brush electrodes 46, 46' will tend to increase. Pointed electrodes 47\* extend from the brush electrodes 46, 46' toward the interior of the shell and, by corona discharge, limit the maximum potential difference which may be established between the brush electrodes 46, 46' and the spherical electrode. The discharge from positively charged electrodes 47\* to the interior of the electrode 40 will increase the positive charge on the hollow electrode 40.

These conditions will be best understood if it is kept in mind that the pointed or brush terminal constitutes a terminal having, at the region of its pointed end, a high potential gradient as compared with the potential gradient at the surface of its complementary, relatively rounded terminal. This creates an electric field between the two terminals sufficiently intense to ionize the air with the liberation of free positive and negative charges or ions. By far the greater number of free charges are liberated in the immediate vicinity of the pointed terminal where the potential gradient is highest,—the so-called corona discharge emanated from the point being evidence of their presence. This causes the passage or migration of ions of one sign from the pointed terminal toward the rounded terminal.

If the pointed terminal is negative with respect to the opposing rounded terminal, the free negative charges in the vicinity of the point will be repulsed and driven toward the rounded terminal to be intercepted by the belt. If the pointed terminal is positive it will propel the free posi-

tive charges toward the opposing terminal and the belt will collect positive charges. The charges thus become "sprayed", as it were, on the belt from the pointed or brush terminal due to the ionized condition of the air and to the electric forces of the field.

In the embodiment of the invention shown in Fig. 3, the voltage across the terminal is built up by the structures holding the rounded terminals receiving and accumulating the charges which are initially placed upon the belt by friction or from any external source. Due to the friction of the moving belt on the pulley, for example, a small initial charge may be applied to the belt. This will result in the cumulative separation of positive and negative electricity by induction, thus charging the rounded terminals and priming the machine. When the voltage across the terminal gaps is sufficient to cause ionization adjacent the pointed terminal, the apparatus functions in a very definite manner and begins to operate as self-exciting and at full power.

In Fig. 1, however, a strong uni-directional field is impressed across the lower ionization terminals from a source of sustained voltage independent of the belt and pulley and comprising the transformer and rectifier. With excitation supplied in this manner, the apparatus builds up very quickly on the hollow sphere a high voltage charge of a certain and predetermined sign.

The belt is initially primed either by friction or by some other source of small charges. It will be apparent that, after placing an initial small charge on the belt, the apparatus is self-exciting and will rapidly build up to its maximum output.

The high potential difference under which the two electrode units are charged may be utilized to supply direct current or, in fact, continuous current power where desirable to a high voltage, power-consuming device, operatively related to the electrode units, and herein shown as extending between and supported by the electrodes 40, the transmission of power taking place from one generator to the other through this connecting link which thus becomes a power transmission element or line. As an example of such a device, there is shown in Fig. 2 an X-ray tube comprising a glass cylinder 52 having a cathode 53 comprising a filament sealed in one end of the cylinder and having a metal target 54 secured across the opposite end of the cylinder. In the case of a hot filament as shown, emitting electrons, and in the event that the vacuum is high, the power would be transmitted by electrons only. On the other hand, of course, ions of both signs could take part. The ends of the tube extend through openings formed in the surface of the hollow cylinder. The bounding edges of these openings through which the tube enters are provided with a rounded, re-entrant contour to prevent corona discharge thereat. The operators work within the hollow electrodes, suitable doors (not shown) being provided to permit access to the interior of these operating rooms. When closed, the door should continue the continuity of the smooth exterior surface of the electrode to avoid the corona discharge which would take place from sharp edges. The operators are thus fully protected from the high potentials since no charge exists on the interior wall of the electrodes. This is a matter of great convenience as it enables the operator to work in contact with the electrode and avoids the use of external conductors. This feature is particularly important as

it would be quite difficult to design conductors for transferring current between the electrodes and an electrical device spaced an appreciable distance from them. If the operator were outside of the electrode, it would be impossible for him to approach within several feet of the charged electrodes.

As shown in Fig. 4, the charge carrier takes the form of a disk 60 of paper, impregnated fabric or other insulating material which is mounted on and rotated by an insulating rod or shaft 61. The upper portion of the disk passes into the hollow electrode 62 through a narrow slit and the charges to be transferred to the electrode are placed on the edge of the disk 60 by a corona discharge electrode 63 that is energized by a relatively low potential source of unidirectional current, which is indicated in Fig. 4 by the legend "5,000 volts", and these charges are removed from the disk by a brush or collector 63'.

As shown in Figs. 5 and 6, the charge carrier is a fluid medium, such as oil, circulated through the endless pipe line 64 by a pump 65. The fluid medium is charged, at the lower portion of the system, by a discharge point 66 which extends into the conduit 64 and terminates adjacent the larger and rounded electrode 67. Condenser plates 68 are arranged within a portion of the conduit 64 which lies within the hollow electrode 69, and washers or baffles 70 compel the moving column of oil to flow between the condenser plates. The condenser is charged by a current source of low voltage, such as a battery 71 of the low current drain type commonly used with vacuum tubes as a plate battery, the battery being connected between one condenser plate and the electrode 69, while the other plate is connected directly to the electrode.

With this arrangement, the moving column of a fluid non-conducting medium receives electrical charges as it passes the pointed electrode 66, and the charges are removed and transferred to the electrode as the medium passes between the condenser plates. If desired, the fluid medium may have fine particles suspended therein to act as the charge carriers, but this is not generally necessary as the charges may be applied directly to the non-conducting fluid. The fluid may be a liquid or a gas or vapor, or a mixture.

The use of conducting spots or zones on a belt or disk type of charge carrier operating in air is, contrary to the prior practice, to be avoided as it results in decreased efficiency due to the lessened effective surface for transferring charges and may materially reduce the maximum voltage that may be established on the electrode or terminal. This will be apparent since a conducting spot or zone on the charge carrier forms, at the instant that it enters the slot in the wall of the electrode, a relatively sharp edged extension of the electrode, thus promoting a corona or leakage discharge from the electrode.

The endless belt, say of the type illustrated in Fig. 1, may be driven by a blast of air, in which case the pulleys may be replaced by curved guide-channels, and the channels may be extended along substantially the full length of the belt as an enclosing housing and providing a passageway along the looped belt for the air. The air is forced into the channel by suitable means and is circulated through the channel carrying the belt around with it.

The described apparatus are illustrative of the operating methods and of appropriate physical structures contemplated by the invention. It will

be apparent that other physical structures which may be designed fall within the scope of the invention as set forth in the following claims.

I claim:

1. In high voltage electrostatic apparatus, a pair of spaced apart electrodes, means constituting an insulating support for the respective electrodes, and endless non-conducting charge carriers for transferring charges between ground and the respective electrodes.

2. In high voltage electrostatic apparatus, a pair of mechanically independent and relatively movable units, each unit comprising an electrode, an insulating support for the electrode, an endless non-conducting charge carrier for transferring charges to the electrode, and means at the opposite end of said support for driving said charge carrier.

3. In high voltage electrostatic apparatus, the combination with a hollow electrode, and means for establishing a high direct current potential difference between said electrode and ground, of a high voltage power-consuming device exterior to said electrode and having one end thereof extending through the wall of said electrode.

4. In high voltage electrostatic apparatus, the combination with a pair of hollow electrodes and means for establishing high direct current potentials of opposite sign on the respective electrodes, of a high voltage power-consuming device extending between said electrodes and having the ends thereof structurally connected to the opposing walls of the respective electrodes.

5. In high voltage electrostatic apparatus, a conductive shell of rounded form constituting a hollow electrode and containing an interior operator's room to which access is provided, a column supporting said shell above ground and insulating said shell therefrom, an endless non-conducting charge carrier movable from a point within said shell to a point at the opposite end of said column.

6. The invention as set forth in claim 5, wherein an opening is provided in said shell midway the top and bottom thereof, in combination with a high voltage power-consuming device exterior to said room and having one end thereof connected to said opening in said shell.

7. In high voltage electrostatic apparatus, a pair of conductive shells and constituting each a hollow electrode containing an operator's room, insulating supporting columns for the respective shells, endless charge carriers for transferring charges to the respective shells to impart thereto electrical potentials of opposite sign, an elongated high voltage power-consuming device, and means supporting said device between said shells and with the opposite ends thereof projecting through said shells to the interior thereof.

8. The combination with a hollow electrode, a hollow insulating support for said electrode, and a charge carrier within said support for transferring charges between said electrode and ground, of means establishing a controlled potential gradient along said insulating support.

9. The invention as set forth in claim 8, wherein said support has the form of a cylinder and said means comprises a coating of a material on the wall of said cylinder having a receptivity relatively low as compared with that of said support.

10. The invention as set forth in claim 8, wherein said means comprises a low conductivity conductor wound on the wall of said support.

11. In an electrostatic machine, the combina-

- tion of a body to be charged, said body being insulated from ground, an insulating charge conveyor, and means supporting said conveyor for movement along an endless path and with a plurality of spaced portions of said conveyor moving into and out of said body, and means for transferring electric charges between said body and each of said spaced portions of said conveyor.
12. In an electrostatic machine, the combination of a body to be charged, said body being insulated from ground, an insulating belt, means supporting said belt for movement along an endless path and with a plurality of spaced portions of said belt moving into and out of said body, and means for charging substantially the entire length of said belt to effect thereby a transfer of charges between the electrode body and points on said belt spaced therefrom.
13. In an electrostatic machine, the combination of an electrode body insulated from ground, an insulating belt, and means supporting said belt for movement along an endless path and with a plurality of spaced portions of said belt moving into and out of said electrode, means for placing electrical charges on each of said spaced belt portions moving towards said electrode body, and means within the electrode body for transferring to said electrode body the electrical charges carried thereto by the said portions of the belt.
14. In an electrostatic machine, the combination of a hollow electrode body insulated from ground, an insulating conveyor, and means supporting said conveyor for movement along an endless path and with a plurality of spaced portions of said conveyor moving into and out of said electrode, means for placing charges upon that section of each of said spaced conveyor portions which moves towards and into said electrode body, and means for transferring charges of opposite sign from the electrode body to that section of each of said spaced conveyor portions which moves out of said electrode body.
15. In an electrostatic generator, a hollow electrode, an insulating support for the same, endless belt charging means including a plurality of pairs of complementary flights extending into the interior of said hollow electrode, means for driving said endless belt means, and electrode means spaced from said hollow electrode for placing electric charges upon the flights of said endless belt means.
16. The invention as set forth in claim 15, wherein said driving means moves adjacent flights of said belt in opposite directions, and said electrode means places upon a belt flight moving towards said hollow electrode an electric charge of the sign opposite to that of the adjacent belt flight which is moving away from said hollow electrode.
17. In an electrostatic machine, the combination with a hollow electrode, an insulating support for the same, and charge-transferring means within said hollow electrode, of endless belt means for conveying electrical charges to and from the interior of said hollow electrode, said belt means including a plurality of pairs of complementary belt flights passing into and out of said electrode, supporting means for said belt means and including a set of pulleys within and another set of pulleys spaced from said electrode, means for moving adjacent flights of said belt means in opposite directions and charge-transferring electrode means adjacent said belt means and spaced from said hollow electrode.
18. In an electrostatic apparatus, a pair of spaced hollow electrodes of rounded contour, columns supporting and insulating each electrode from ground, traveling means for carrying electric charges of one sign to and into one of said electrodes and charges of the opposite sign to and into the other of said electrodes, and means within each of said electrodes for transferring to the electrode the charges brought thereto by said traveling means.
19. In a high voltage apparatus, an electrode structure comprising a hollow shell with an operator's room contained therein, and means for electrostatically charging the shell.
20. In a high voltage electrostatic apparatus, the combination with an electrode, of a movable charge-carrying means for charging said electrode, an insulating connection between said electrode and a point having a high potential difference with relation to said electrode, and means for establishing a controlled potential gradient along said insulating connection.
21. In a high voltage electrostatic apparatus, the combination with a body to be charged, of an insulating support for the body, a movable charge-conveying medium having a path of movement entering the body in the vicinity of the connection of said support, and means for establishing a controlled potential gradient along said support.
22. An electrostatic machine having a body to be charged, a movable charge-conveying means, means establishing a plurality of paths for said conveying means, each path having an entry into and an exit from said body, and means for transferring electrical charges between said body and said conveying means.
23. The invention as set forth in claim 22, characterized by the fact that the means for transferring electrical charges serves to transfer electrical charges to said body from said conveying means at a plurality of the entering portions of said conveying means.
24. The invention as set forth in claim 22, in which the means for transferring electrical charges serves to transfer electrical charges from said body to said conveying means at a plurality of exit portions of said conveying means.
25. The invention as set forth in claim 22, characterized by the fact that the means for transferring electrical charges serves to transfer electrical charges from said conveying means to said body at a plurality of entering portions of said conveying means and to remove electrical charges to said conveying means from said body at a plurality of exit portions thereof.
26. An electrostatic machine having a body to be charged, and movable charge conveying means for transferring electric charges between said body and said conveying means, said conveying means having a plurality of looped portions within said body.
27. In an electrostatic apparatus, the combination with a body to be charged, of a hollow insulating tube supporting said body, and a moving conveying medium for transferring electric charges to said body having a path of movement within said insulating tube.
28. In an electrostatic apparatus, the combination with a body to be charged, of a traveling charge conveying medium operatively related thereto, and means for causing a transference of electric charges to said medium comprising a source of sustained voltage independent of said

medium and opposed terminals between which said medium travels, one of which is connected to said voltage source, said terminals providing one a region of relatively high potential gradient and the other a region of relatively low potential gradient.

29. An electrostatic apparatus, comprising a hollow body to be charged, insulating means spacing the same from ground, an endless charge conveyor with means for causing the travel of the same into and out of said body, means for applying electric charges to said conveyor at a point outside of said body, an electrode within and insulated from said body for removing electric charges from the entering portion of said conveyor, a terminal connected to said electrode and presenting a relatively extended surface positioned adjacent the departing portion of said conveyor, and an electrode connected to the interior of said hollow body and positioned adjacent said departing portion and opposite said terminal, thereby to place charges on the departing portion of a sign opposite that of the charges brought to said body by said conveyor.

30. In a high voltage electrostatic apparatus, the combination with an electrode comprising a hollow body of rounded contour, of means for charging the same to an abnormally high voltage, said body having an opening in its surface, the bounding edges of said opening having a rounded re-entrant contour, and a member entering the opening in said body.

31. In an electrostatic apparatus, the combination with a body to be charged, of a charge-conveying medium, means for applying electric charges to said medium, and means for transferring charges from said medium to said body, including charge collecting means operatively related to said body and comprising conducting terminals of opposite polarity and an independent source of voltage for exciting said terminals.

32. In an electrostatic charging system, the combination with a pair of terminals, of electrostatic means for creating a high potential difference between said terminals, an evacuated tubular member structurally connected to one of said terminals, and means within the tubular member for completing a path of current from one terminal to the other.

33. An electrostatic machine comprising a hollow body constituting an electrode-terminal, on the surface of which a high potential charge is to be established, a movable charge carrier having a looped portion thereof located within said body and entering and leaving the latter, and means substantially wholly within said hollow body for transferring charges between said charge carrier and said body.

34. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of movable charge conveying means having entrance into and exit from said body, and means for transferring charges of one sign to said body from the charge conveying means on entrance therein and for removing charges of the opposite sign to said charge conveying means on exit therefrom.

35. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of an endless charge conveying belt having a movement into and out of said body, means for transferring charges from an entering portion of said belt to said body, and means for removing charges of an opposite sign from said body to a departing portion of said belt.

36. In an electrostatic machine, the combina-

tion with a body to be charged, of a movable charge conveying medium having a path of movement into and out of said body, means for transferring charges from said medium to said body on entering the latter, and means for transferring charges of the opposite sign to said medium from said body on leaving the latter.

37. In an electrostatic apparatus, the combination with a hollow body to be charged, of an endless conveying medium having a path of movement into and out of said body, means for transferring charges from an entering portion of the medium to said body, and means for removing charges of the opposite sign from said body to a departing portion of said medium, both said transferring and said removing means being substantially wholly within said hollow body.

38. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of endless charge conveying means for carrying electric charges to and into said body and having portions traveling in closely adjacent parallel paths, and a solid elongated insulating body lying between said parallel portions.

39. In an electrostatic power transmission system, the combination with an electrode body, of means for charging the same electrostatically to a high potential, a second electrode body insulated from ground adapted to be electrically connected to said first body to receive current therefrom, and an endless charge carrier having a path of movement into and out of said second electrode body with means for the transfer of electric charges between said second body and the ground to operate said charge carrier as a motor.

40. In high voltage electrostatic apparatus, a vertically disposed insulating column, a hollow electrode supported at the top of said column, an endless charge carrier and means for moving the same between a point near the base of said column and the interior of said hollow electrode, means for applying electrical charges to a portion of said carrier at a point remote from said electrode, and means within said hollow electrode for removing said electrical charges from said carrier.

41. In an electrostatic machine, a hollow body of rounded contour constituting an electrode-terminal on the surface of which a high potential charge is to be established, insulating means supporting said electrode, a pulley within and substantially surrounded by said body, an endless charge carrier comprising a belt having a loop passing about said pulley and entering and leaving said body, and means for driving said charge carrier.

42. In an electrostatic apparatus, the combination with a pair of spaced hollow bodies constituting each an electrode-terminal on the surface of which a high potential charge is to be established, of insulating means supporting said bodies, traveling charge-carrying means for carrying electric charges of one sign to and into one of said electrodes and charges of the opposite sign to and into the other of said electrodes, and means substantially wholly within and surrounded by each of said electrodes for transferring to the said electrodes electric charges brought thereto by said charge-carrying means.

43. In an electrostatic apparatus, the combination with a pair of spaced hollow bodies constituting each an electrode-terminal on the surface of which a high potential charge is to be established, of insulating means supporting said bodies, traveling charge-carrying means for carrying electric charges of one sign to and into one of said

electrodes and charges of the opposite sign to and into the other of said electrodes, means substantially wholly within and surrounded by each of said electrodes for transferring to the said electrodes electric charges brought thereto by said charge-carrying means, and means for establishing a predetermined path of current transference between the electrodes comprising a vacuous casing connected to and extending between said electrode-terminal bodies.

44. In an electrostatic apparatus, the combination with a pair of spaced hollow bodies constituting each an electrode terminal on the surface of which a high potential charge is to be established, of insulating means supporting said bodies, traveling charge-carrying means for carrying electric charges of one sign to and into one of said electrodes and charges of the opposite sign to and into the other of said electrodes, means substantially wholly within and surrounded by each of said electrodes for transferring to said electrodes electric charges brought thereto by said charge-carrying means, means for establishing a predetermined path of current transference between the electrodes comprising a vacuous casing connected to and extending between said electrode terminal bodies, and a power-consuming device located in said path of current transference.

45. In a high voltage electrostatic apparatus, the combination with a hollow body constituting an electrode-terminal on the surface of which a high potential charge is to be established, of a moving charge-conveying insulating medium having a path of movement entering and leaving said body, means for applying charges to said medium at a point remote from said body, and means substantially wholly within and enclosed by said body for removing charges from said medium within said body, said charge-conveying medium being of substantially uniform insulating properties thereby to prevent concentration of the electric field along its path and to suppress corona discharges.

46. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of a movable charge-conveying medium for carrying charges to and from said body, and charge transferring means substantially surrounded by the equipotential surface of said body for transferring a charge of one sign from said medium to said body and for removing a charge of the opposite sign from said body to said medium.

47. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of a movable

charge-conveying medium for carrying charges to and from said body, and charge transferring means substantially within said body for transferring a charge of one sign from said medium to said body and for removing a charge of the opposite sign from said body to said medium.

48. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of a movable charge-conveying medium for carrying charges to and from said body, and charge transferring means operating independently of and unaffected by the potential of said body for transferring a charge of one sign from said medium to said body and for removing a charge of the opposite sign from said body to said medium.

49. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of a movable charge-conveying medium for carrying charges between said body and a point remote therefrom, and charge transferring means independent of and unaffected by the potential of said body for transferring to said medium at said point a charge of one sign and for removing from said medium at said point a charge of the opposite sign.

50. The combination with a body charged to a high potential, of a movable charge-conveying medium operatively related to said body, and means for operating said charge-conveying medium as a motor including means for transferring charges of one sign from said medium to said body and for removing charges of the opposite sign from said body to said medium, said charge transferring and removing means operating independently of and unaffected by the potential of said body.

51. In an electrostatic apparatus, the combination with a movable charge-conveying medium, of charge transferring means operatively related thereto, and continuous charge supplying means including an electro-magnetic source of power therefor.

52. An electrostatic apparatus comprising a movable charge-conveying medium, charge transferring means operatively related thereto, and electro-magnetic means for providing continuous, steady excitation for said transferring means.

53. In an electrostatic machine, the combination with a body to be charged, of a charge-conveying medium having a path of movement between said body and a point remote therefrom, and a casing in which said medium is contained and of which said body forms an essential part.

ROBERT J. VAN DE GRAAFF.

**CERTIFICATE OF CORRECTION.**

Patent No. 1,991,236.

February 12, 1935.

**ROBERT J. VAN de GRAAFF.**

It is hereby certified that error appears in the printed specification of the the above numbered requiring correction as follows: Page 4, second column, line 69, claim 9, for "receptivity" read resistivity; and that the said Letters Patent should be read with this correction therein that the same may conform to the record of the case in the Patent Office.

Signed and sealed this 12th day of March, A. D. 1935.

**Leslie Frazer**

Acting Commissioner of Patents.

(Seal)



## ANEXO II

### Proposta orçamentária do gerador de Van de Graaff (pimpão)

# PIMPÃO

Orçamento 80674

Data 30/04/2019

Validade 03/05/2019

Para: THIAGO ALVAREZ MIRANDA - 57430  
E-Mail:  
Endereço:  
Cidade/UF:  
A/C:  
E-Mail Cont.:

Fone:  
CNPJ:  
Complemento:  
CEP:  
Vendedor: ATENDIMENTO

**Observação** Forma de pagamento: Depósito à vista ou cartão de crédito em até 6x com parcela mínima de R\$50,00 - Frete à pagar. Prazo de entrega: de 10 à 20 dias úteis mais transporte

Referência	Descrição	Qtd	VL. Unit. (R\$)	VL. Venda (R\$)
18992	GERADOR ELETROSTATICO DE VAN DE GRAAFF, 400 KV 110 V	1	6.987,20	6.987,20

Total Bruto: R\$ 6.987,20	Desconto Geral: R\$ 0,00	Total: R\$ 6.987,20
Total Produtos: 1	Total Itens: 1	

Rua General Potiguar, 1428 - Lote 09 - Novo Mundo - Curitiba/PR CEP:81050-500  
CNPJ: 85.050.656/0001-71      IE.: 1018906194      FONE: 41 3212-7833  
pimpao.com.br - pimpao@pimpao.com.br      WhatsApp: 41 99954 6869

## **APÊNDICE A**

## PROPOSTA DE APLICAÇÕES DO GVG EM SALA DE AULA



Arrepio dos cabelos de uma mulher através de um gerador de Van de Graaff. Nessa apresentação, pode-se discutir a natureza de atração ou repulsão das cargas elétricas. **FONTE:** <https://azeheb.com.br/blog/conheca-os-melhores-materiais-para-estudo-da-fisica/gerador-de-van-graaff/>



Descarga elétrica produzida entre a cúpula de um gerador de Van de Graaff e uma esfera aterrada. Nessa apresentação pode-se discutir o sentido do fluxo de elétrons. **FONTE:** <https://athoselectronics.com/gerador-de-van-de-graaff/>



Torniquete sobre a cúpula de um gerador de Van de Graaff. Nessa apresentação pode-se investigar o efeito corona assim como o poder das pontas. **FONTE:** <https://fisicaeletro.blogspot.com/2011/06/atividades-em-laboratorio.html>

## **APÊNDICE B**

**ALGUMAS REFERÊNCIAS INTERESSANTES SOBRE A CULTURA MAKER NA INTERNET (ÚLTIMO ACESSO EM 07/09/2019):**

<https://www.revistaeducacao.com.br/movimento-maker-alunos-se-tornam-produtores-de-conhecimentos-e-objetos/>

http://porvir.org/espaco-maker-e-o-fim-da-era-do-laboratorio-de-informatica/?gclid=Cj0KCQjwqs3rBRCdARIsADe;

http://cieb.net.br/wp-content/uploads/2019/06/Diretrizes-de-Forma%C3%A7ao\_EfeX.pdf;

http://cp2.g12.br/ojs/index.php/midiaseeducacao/article/view/942/676;

https://linhadireta.com.br/publico/images/pilares/54d33b42f277cf2d8944187de1e6f171.pdf;

## **APÉNDICE C**

**ALGUMAS REFERÊNCIAS SOBRE PROJETOS DE  
CONSTRUÇÃO DE GERADOR DE VAN DE GRAAFF (ÚLTIMO  
ACESSO EM 07/09/2019):**

<https://athoselectronics.com/gerador-de-van-de-graaff/>;

<https://www.docsity.com/pt/gerador-de-van-de-graaff-2/4711552/>;

<http://gvdgcefet.blogspot.com/>;

<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/o-gerador-van-der-graaf.html>;

[https://sites.google.com/site/megaphisica/trabalhos-  
experimentais/gerador-eletrostatico-de-van-de-graaff/](https://sites.google.com/site/megaphisica/trabalhos-experimentais/gerador-eletrostatico-de-van-de-graaff/);

## **APÊNDICE D**





**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Procedimento de Montagem do Gerador Eletrostático de Van de Graaff e  
algumas propostas simples de aplicação do GVG em sala de aula**

**(MATERIAL PARA O PROFESSOR)**

Thiago Alvarez Miranda e Helio Salim de Amorim

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado de Thiago Alvarez Miranda, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro

Outubro de 2019

Prezado leitor, gostaria de fazer inicialmente um breve comentário sobre como construir o GVG. Pode acontecer de que após uma rápida leitura o leve a concluir que os recursos técnicos empregados não estão disponíveis para uso pessoal ou mesmo em sua escola. Contudo, como sugestão prática e pessoal sugiro que leve essa sessão de construção do GVG para um profissional na área de mecânica (oficina de bairro) para que se realize todas ou algumas montagens técnicas específicas (fabricações de peças) presentes nesse material instrucional.

## **Procedimento de Montagem do Gerador Eletrostático de Van de Graaff**

Nesta seção iremos apresentar os procedimentos para a montagem do gerador e também descrever os seus componentes.

### **1 - Materiais**

Neste tópico lista-se todos os materiais necessários para a montagem do nosso gerador.

- 2 telas protetoras para alimento feita de material condutor;
- 1 faixa elástica para exercícios fisioterápicos;
- 50 cm de cano pvc 75;
- 2 cap<sup>s</sup> de tubo pvc 75;
- 1 forma de pizza com 30 cm de diâmetro;
- 1 roldana plástica para varal 4 cm de diâmetro;
- 4 rolamentos 607;
- 4 parafusos fenda limão 1/4 x 1/2;
- 20 porcas sextavada de 1/4;
- 4 arruelas para parafusos de 1/4;
- 1 barra rosqueada de 1/4;
- 1 motor de impressora 12volts;
- 50 cm de fio paralelo 1mm;
- 1 chave margirius;
- 1 pedaço de papel alumínio (4cm x 8cm);
- 1 chip para bateria 9volts;
- 1 plug p4 parafuso;
- 1 fonte (12v – 1A) chaveada;

- 2 pedaços de 5 cm do tubo pvc 20;
- 1 pedaço de barbante;
- 1 elástico.

**2 - Para o processo de construção do GVG, é importante ter ao alcance algumas ferramentas elétricas e manuais; tais como:**

- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| ➤ Serra tico-tico | ➤ Martelo                        |
| ➤ Furadeira       | ➤ Régua de silicone              |
| ➤ Serra manual    | ➤ Cola instantânea               |
| ➤ Serra copo      | ➤ Massa epóxi                    |
| ➤ Alicates        | ➤ Fita adesiva incolor           |
| ➤ Chave de fenda  | ➤ Ferro de Solda para eletrônica |

### **3 - Descrição dos materiais e Procedimento de montagem**

Após a escolha dos materiais para a montagem do gerador, faz-se necessário a descrição de alguns materiais.

**TELA PROTETORA PARA ALIMENTOS:**

A ideia dessas duas telas é formar uma esfera metálica que irá se acoplar na estrutura do gerador. Depois de muitas pesquisas, onde foi levado em consideração peso, tamanho e preço, a tela protetora para alimentos (ver figura 3.1) é a mais indicada por ser de fácil aquisição.



**Figura 3.1** – Tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Encontrada em lojas de utilidades para a casa, essa tela é vendida em variados tamanhos e cores. Para o nosso gerador usamos a da cor azul e com 30 cm de diâmetro. Um outro benefício em utilizar essa tela é que o GVG terá uma esfera transparente o que permitirá a realização e visualização de experimentos no interior dela.

- **A FAIXA ELÁSTICA PARA EXERCÍCIOS FISIOTERÁPICOS:**

Para o nosso gerador, a correia transportadora de carga elétrica será uma faixa elástica (ver figura 3.2), aquelas adquiridas em lojas de materiais hospitalares e utilizadas como exercícios fisioterápicos ou ortopédicos. A escolha correta desse componente é de extrema importância para o funcionamento do GVG, pois existem materiais, como por exemplo câmeras de ar usadas em pneus, que apresentam dificuldades na geração de cargas.



**Figura 3.2** – Faixa elástica. **Fonte:** O Autor.

Essa faixa elástica é vendida a metro, nós compramos 1m e vamos cortá-la para se adequar ao nosso gerador. A sobra poderá ser utilizada posteriormente quando o pedaço utilizado estiver desgastado ou ressecado.

- **CANO PVC 75:**

Por ser isolante, barato e de fácil alcance, 50 cm de cano de esgoto (ver figura 3.3), feito de PVC e com 75 mm de diâmetro, foi escolhido para compor o tronco ou coluna do nosso GVG.



**Figura 3.3** – Parte de um cano PVC (75 mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- CAP DE TUBO PVC 75:

As tampas, ou conhecido comercialmente por cap (ver figura 3.4), do cano pvc de 75 mm de diâmetro, servirão como elementos de fixação, por meio de encaixe, entre a coluna do GVG e a base e também entre a esfera metálica do GVG e a coluna.



**Figura 3.4** – Cap do tubo PVC (75 mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- FORMA DE PIZZA COM 30 CM DE DIÂMETRO:

A forma de pizza (ver figura 3.5) será a base do nosso GVG. Por ser condutora ela dará um ótimo aterramento para o nosso gerador.



**Figura 3.5** – Forma de pizza feita de alumínio. **Fonte:** O Autor.

- ROLDANA PLÁSTICA PARA VARAL 4 CM DE DIÂMETRO:

Existe uma roldana plástica com 4 cm de diâmetro que encontramos facilmente em lojas cuja especialidade são parafusos (ver figura 3.6). A roldana em questão será usada em nosso gerador para gerar tração entre o motor elétrico e o rolete inferior.



**Figura 3.6** – Roldana Plástica para varal. **Fonte:** O Autor.

- ROLAMENTOS 607:

Os rolamentos irão dar suavidade e silêncio aos roletes durante o funcionamento do GVG. Iremos utilizar 4 rolamentos 607 (ver figura 3.7), que também são encontrados em lojas especializadas. As medidas desses rolamentos são 19 mm para o diâmetro externo, 7 mm para o diâmetro interno e 6 mm de espessura; com essas dimensões, eles irão se encaixar perfeitamente nos tubos de PVC de 20 cm de diâmetro onde irão formar os roletes do GVG.



**Figura 3.7** – Rolamentos 607. **Fonte:** O Autor.

- PARAFUSOS FENDA LIMÃO 1/4 x 1/2:



**Figura 3.8** – Parafusos fenda limão. **Fonte:** O Autor.

- PORCAS SEXTAVADA DE 1/4:



**Figura 3.9** – Porcas sextavadas. **Fonte:** O Autor.

- ARRUELAS PARA PARAFUSOS DE 1/4:



**Figura 3.10** – Arruelas. **Fonte:** O Autor.



- BARRA ROSQUEADA DE 1/4:



**Figura 3.11** – Barra rosqueada. **Fonte:** O Autor.

- MOTOR DE IMPRESSORA 12VOLTS:

O motor (ver figura 3.12) será o coração do GVG. Ele será responsável em pôr a correia para girar fazendo com que ocorra o processo de eletrização do gerador. Este motorzinho é facilmente adquirido em diversos sites da internet.



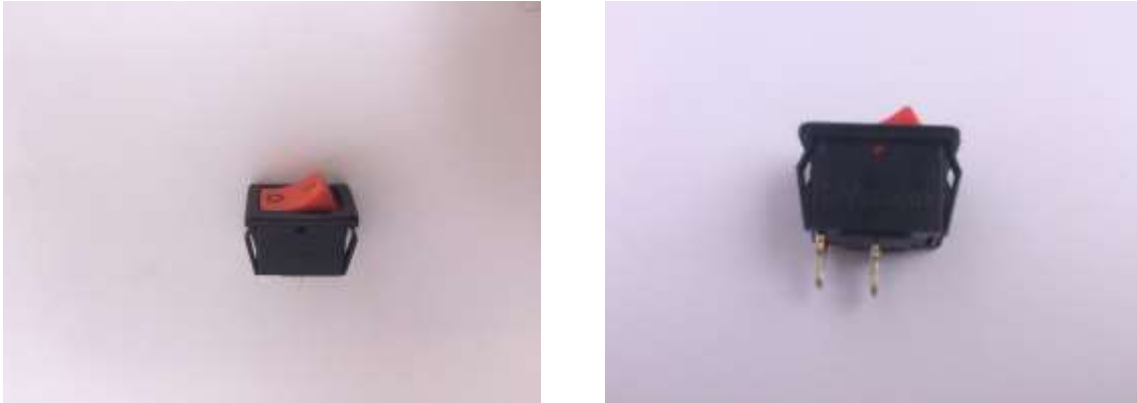
**Figura 3.12** – Motor de impressora. **Fonte:** O Autor.

- FIO PARALELO 1MM:



**Figura 3.13** – Fio paralelo. **Fonte:** O Autor.

- CHAVE MARGIRIUS:



**Figura 3.14** – Chave margirius. **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇO DE PAPEL ALUMÍNIO (4CM x 8CM):



**Figura 3.15** – Pedaco de papel alumínio. **Fonte:** O Autor.

- CHIP PARA BATERIA 9VOLTS:



**Figura 3.16** – Chip para bateria. **Fonte:** O Autor.

- PLUG P4 PARAFUSO:



**Figura 3.17** – Plug P4 parafuso. **Fonte:** O Autor.

- FONTE (12V – 1A) CHAVEADA:



**Figura 3.18** – Fonte 12V-1A. **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇOS DE 5 CM DO TUBO PVC 20:

Esses dois pedaços (ver figura3.19) do tubo PVC de 20mm de diâmetro serão os roletes do GVG.



**Figura 3.19** – Pedaços de tubo PVC (20mm de diâmetro). **Fonte:** O Autor.

- PEDAÇO DE BARBANTE:



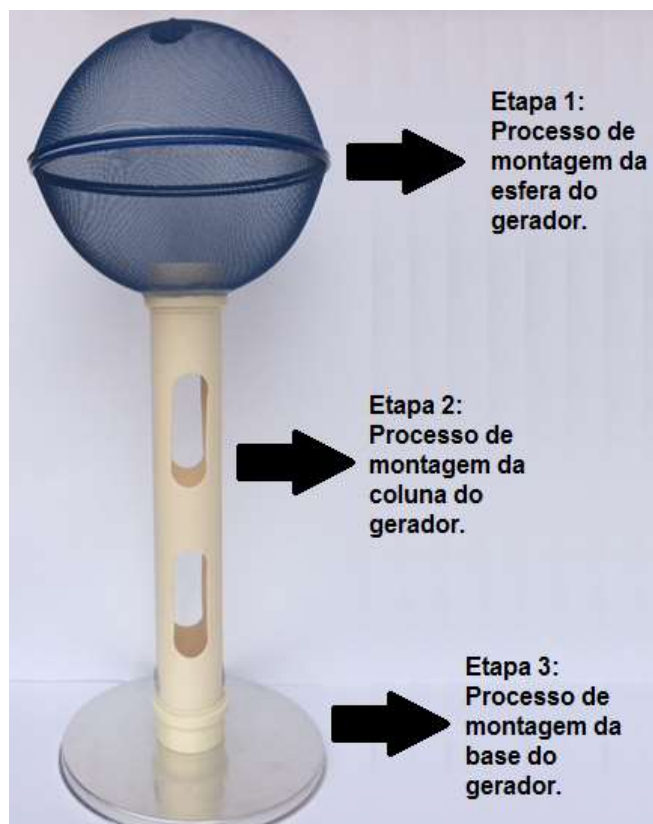
**Figura 3.20** – Barbante. **Fonte:** O Autor.

- ELÁSTICO:



**Figura 3.21** – Elástico. **Fonte:** O Autor.

A descrição do processo de montagem se dará em três etapas, como ilustrado na figura 3.22.

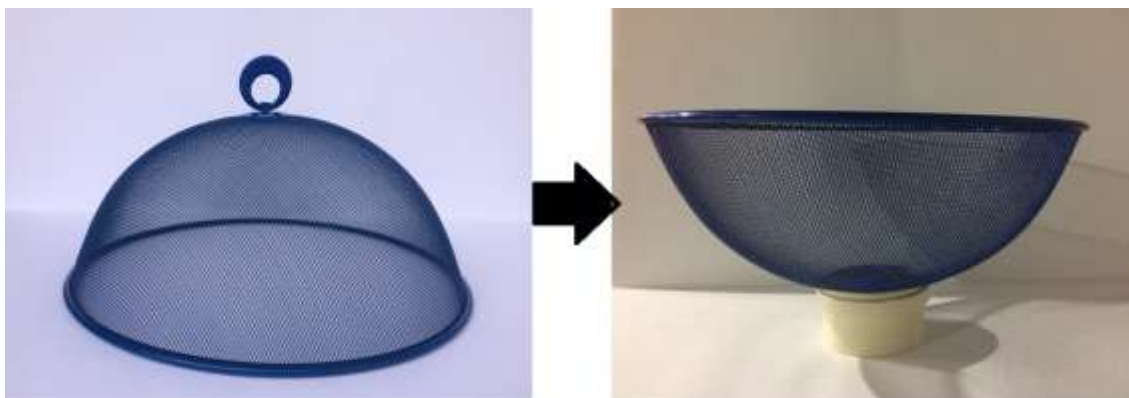


**Figura 3.22** – O nosso modelo de GVG dividido pelas etapas de construção. **Fonte:** O Autor.

Sendo assim, daremos início ao processo de construção do GVG:

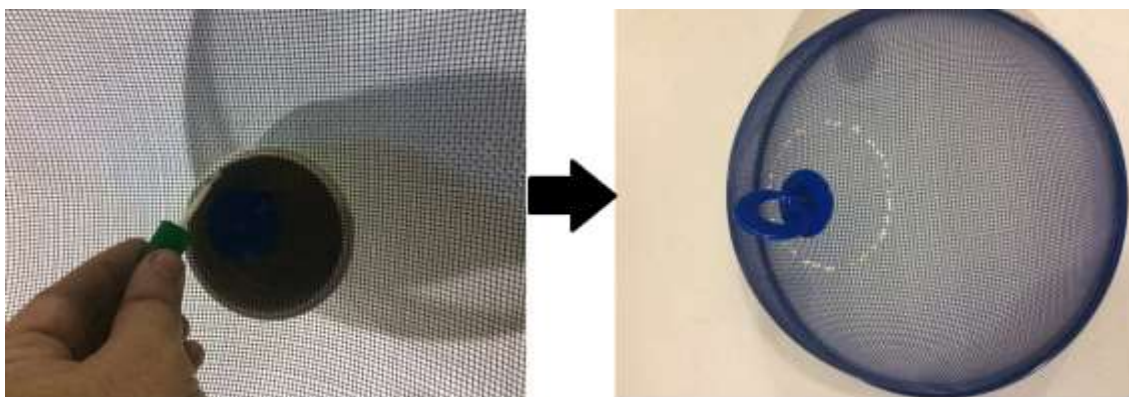
### **ETAPA 1: PROCESSO DE MONTAGEM DA ESFERA DO GVG**

Primeiramente vamos pegar uma das duas telas protetoras e um dos dois CAP's do tubo PVC 75 para a marcação de onde vamos cortar a tela protetora (ver figura 3.23). A ideia é que o CAP fique fixado na parte central da casca semiesférica formada pela tela protetora de alimentos.



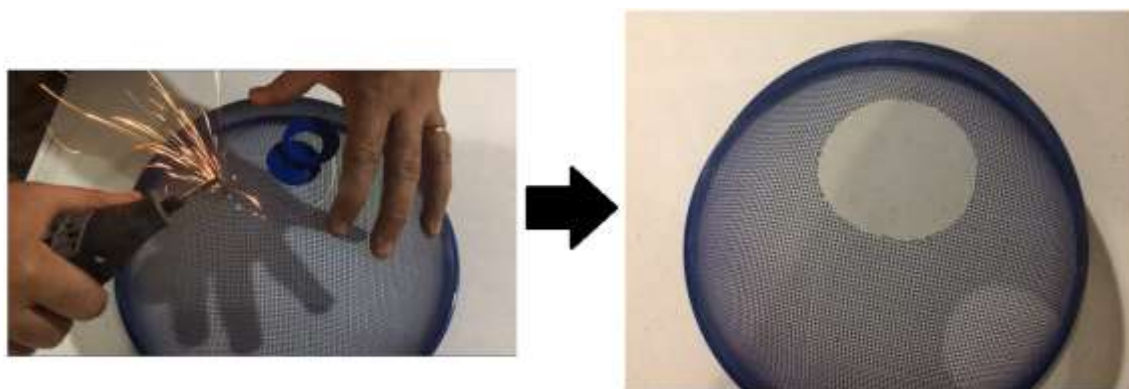
**Figura 3.23** – Marcação do cap na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Após centralizar o cap, vamos fazer a marcação do corte na tela protetora de alimentos (ver figura 3.24); para isso vamos utilizar um corretor escolar.



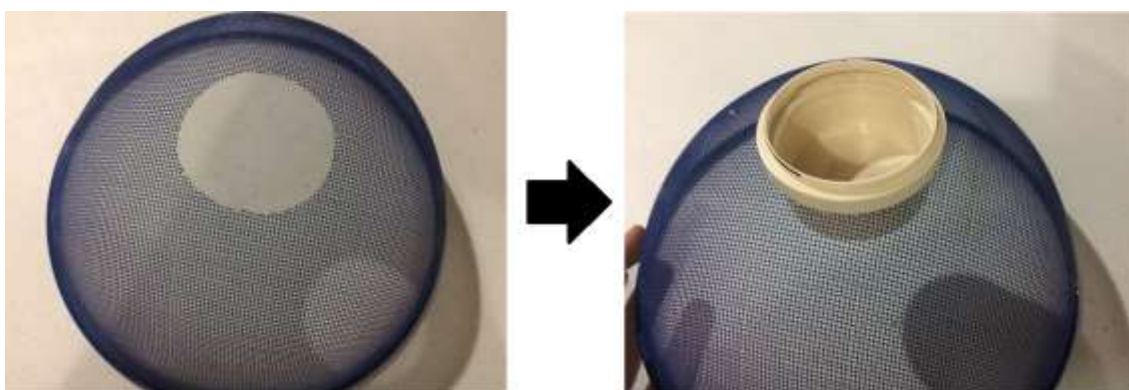
**Figura 3.24** – Marcação para o corte na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Feito a marcação, agora vamos executar o corte (ver figura 3.25); para isso, vamos utilizar uma serra circular de uma micro retífica.



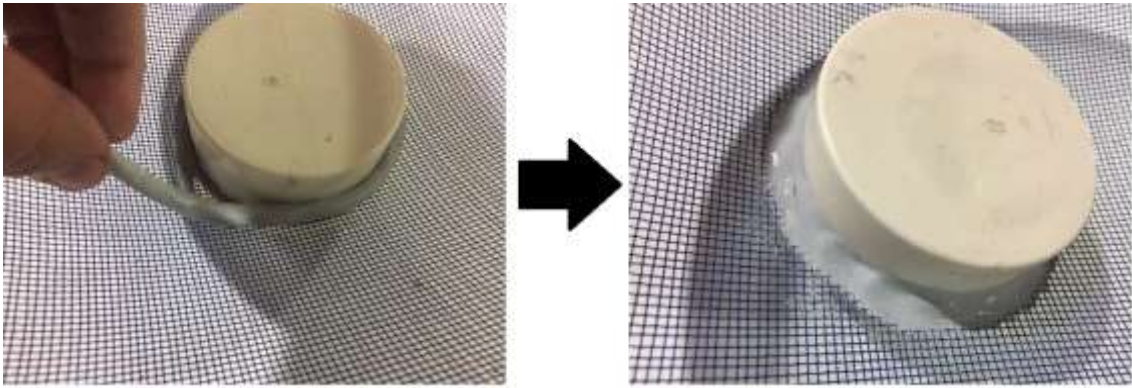
**Figura 3.25** – Execução do corte na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Colocamos, nesse momento, o CAP no buraco feito na tela protetora de alimentos, como ilustrado pela figura 3.26.



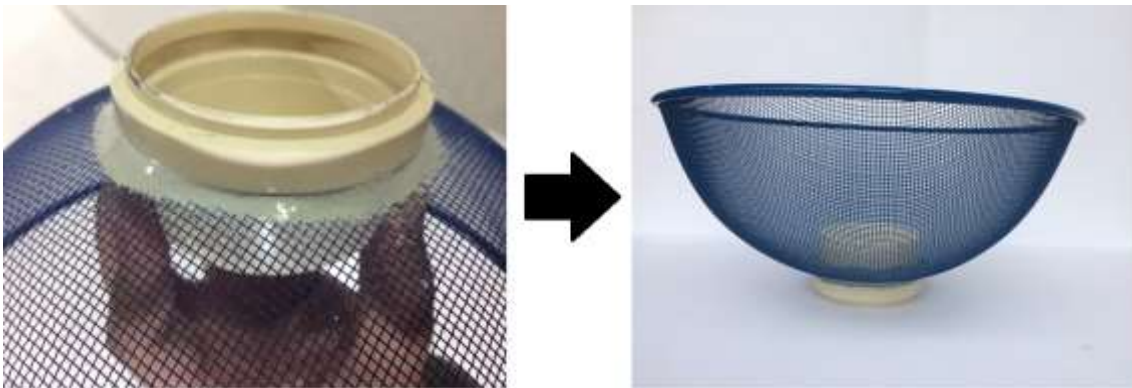
**Figura 3.26** – Encaixe do cap na tela protetora de alimento. **Fonte:** O Autor.

Fixaremos o CAP à tela protetora agora (ver figura 3.27). Para isso vamos utilizar a massa epóxi.



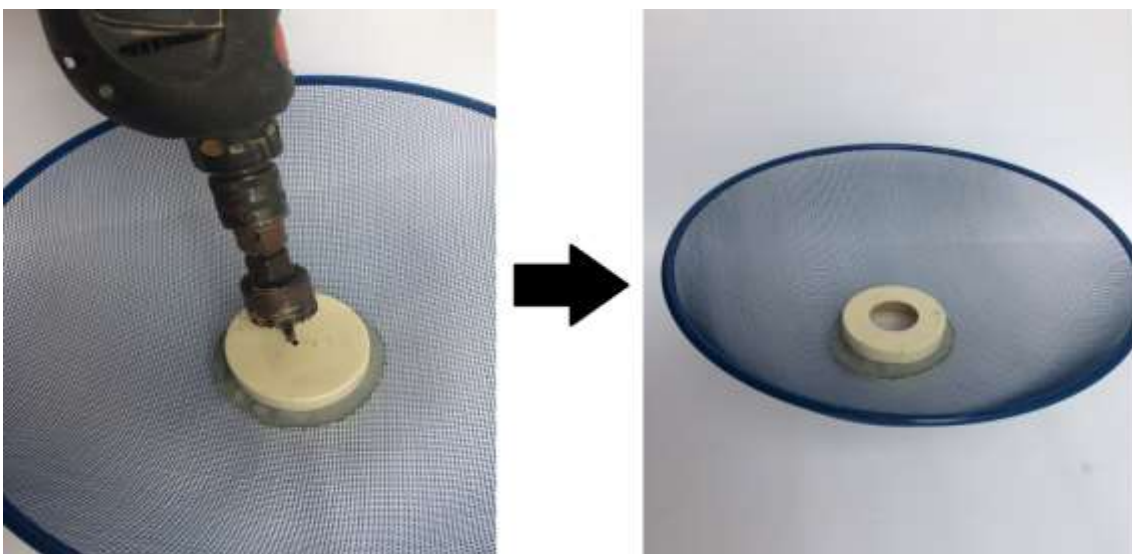
**Figura 3.27** – Fixando o cap na tela protetora de alimento utilizando massa epóxi. **Fonte:** O Autor.

Modele a massa, com as mãos úmidas, ao redor do CAP tanto na parte interna quanto na parte externa da tela protetora (ver figura 3.28). Quando terminar de moldar, deixe a massa secar por 2 horas.



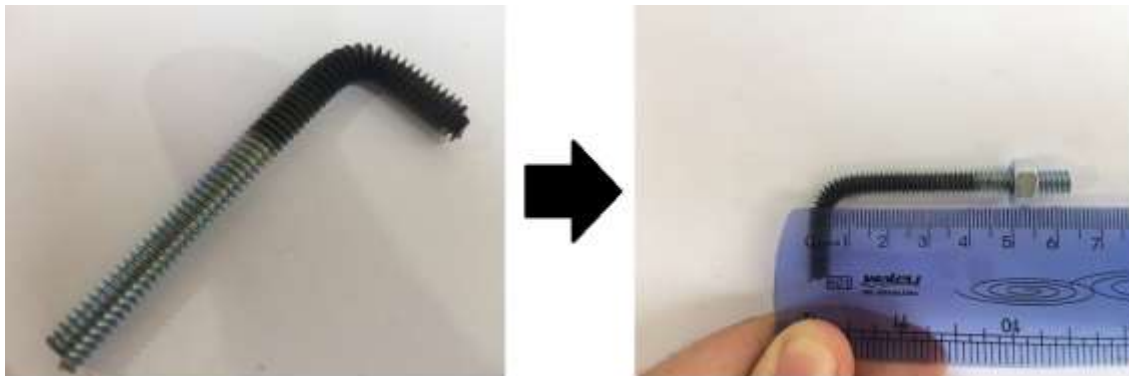
**Figura 3.28** – Modelando a massa epóxi ao redor do cap. **Fonte:** O Autor.

Após a secagem da massa epóxi, iremos executar um furo central no cap. Esse furo poderá ser feito por uma serra copo de 1" ½ e uma furadeira como ilustrado pela figura 3.29.



**Figura 3.29** – Furação do cap. **Fonte:** O Autor.

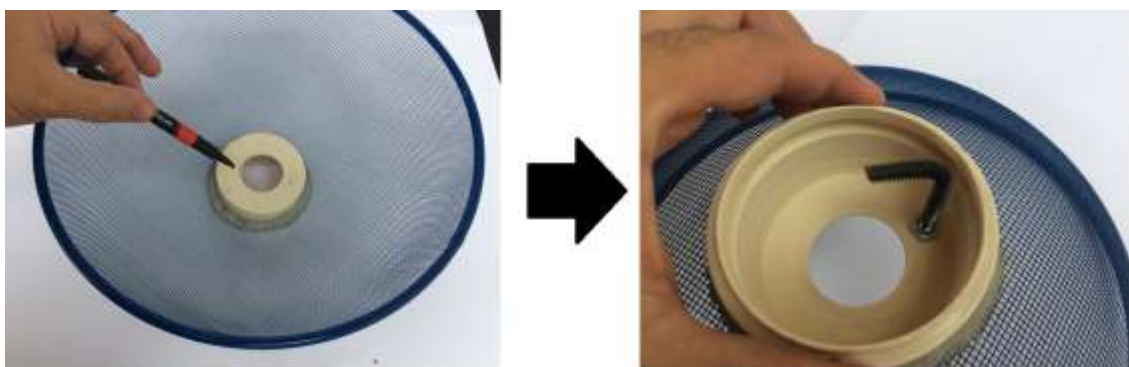
A razão deste furo é para auxiliar na fixação de um pedaço da barra rosqueada de  $\frac{1}{4}$  que ficará em formato de L, e servirá para “tirar” ou “colocar” os elétrons na correia. Assim, cortaremos cerca de 10cm da barra rosqueada e com auxílio de um torno, vamos dobrar esse pedaço de uma forma que a maior parte fique próximo dos 7 cm de comprimento (ver figura 3.30).



**Figura 3.30** – Modelagem do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

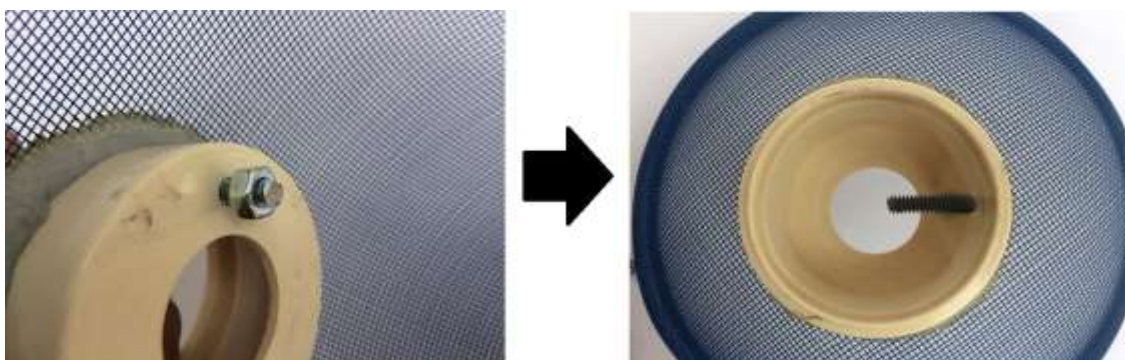
Uma dica é aquecer esse pedaço da barra rosqueada no ponto que iremos dobrar; isso deixará o metal mais flexível, o que evitará uma possível quebra.

Feito a dobra, colocamos uma porca e encaixamos no CAP, após fazermos um furo utilizando a furadeira e uma broca de  $\frac{1}{4}$  (ver figura 3.31).



**Figura 3.31** – Encaixe do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

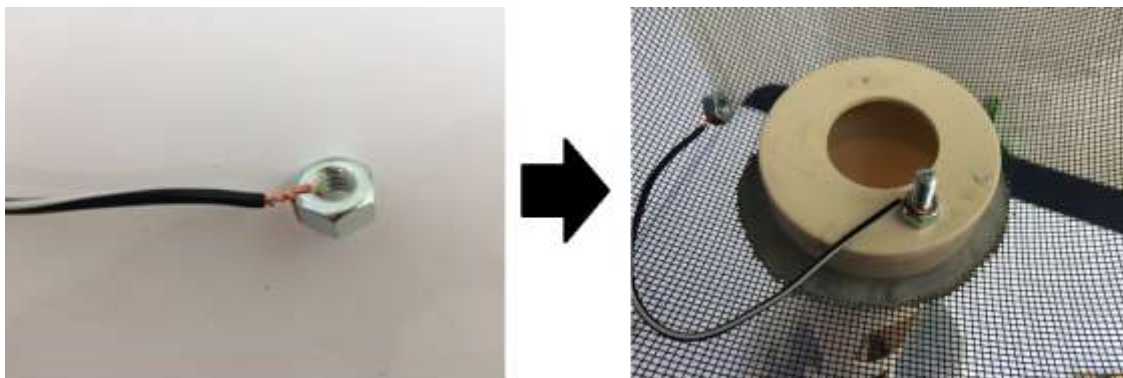
Depois, enroscamos uma segunda porca, para prender a peça em L no cap (ver figura 3.32).



**Figura 3.32** – Fixação do pino coletor superior. **Fonte:** O Autor.

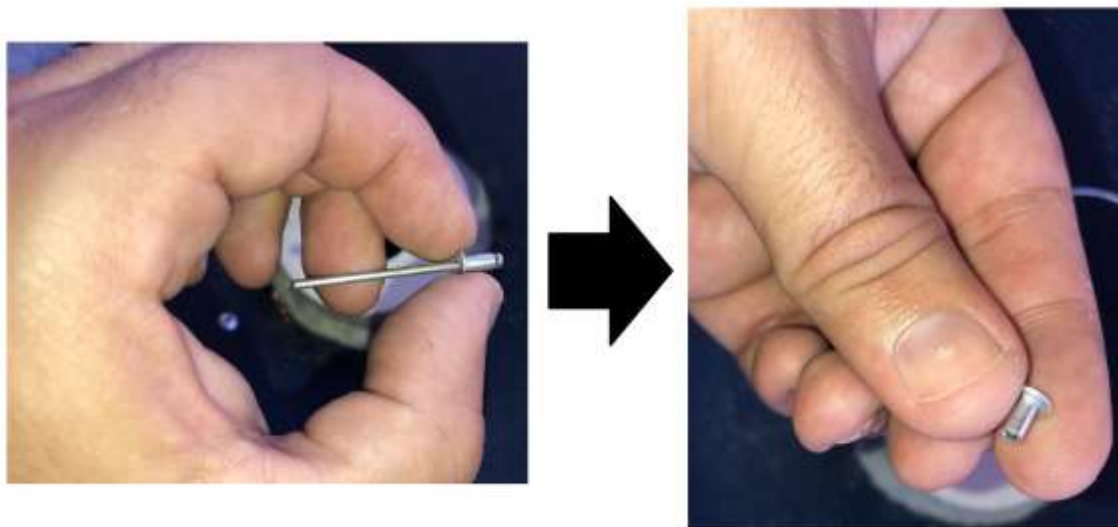


Ainda falta um fio que irá conectar a peça em L à tela semiesférica. Para isso, vamos apresentar duas sugestões: O modelo 1 e o modelo 2. No modelo 1 a construção é mais simples, porém pode apresentar uma certa resistência para o fluxo de elétrons entre a peça em L e a tela durante o funcionamento do gerador, pois existe, em nosso modelo, uma tinta que envolve o metal da tela protetora de alimento. Para a execução desse primeiro modelo, basta cortar cerca de 20cm do fio de 1mm, raspar as pontas, prender uma porca em uma extremidade e fixar a outra na peça em L (ver figura 3.33).



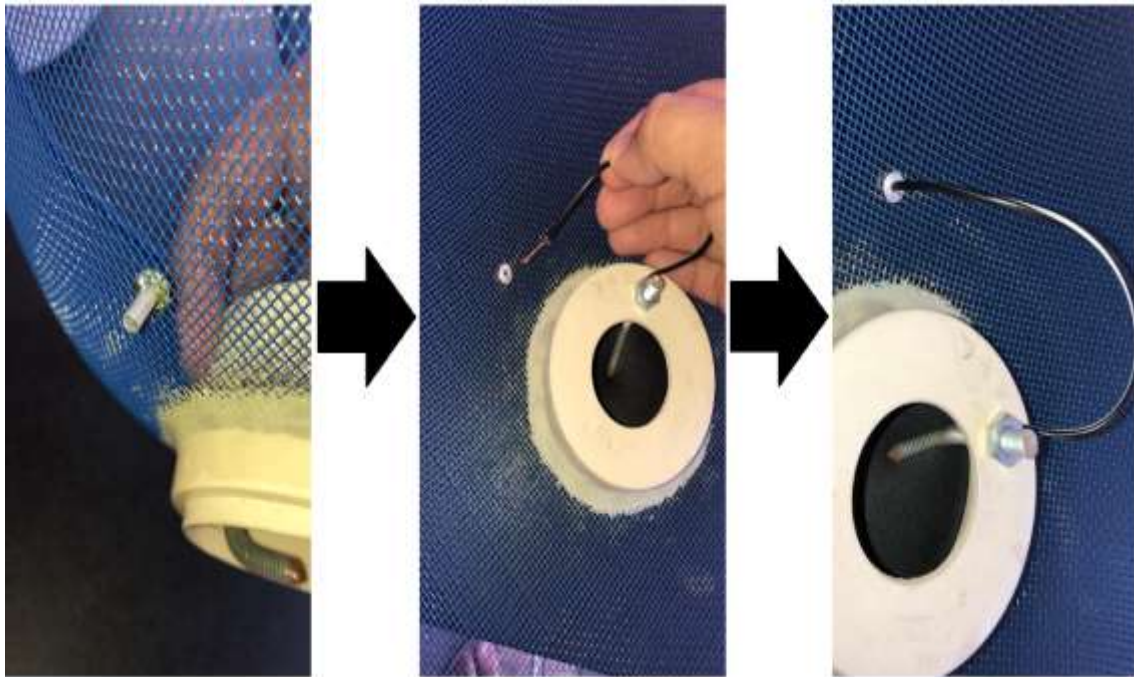
**Figura 3.33** – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.1). **Fonte:** O Autor.

Para a nossa segunda sugestão (modelo 2), vamos eliminar a resistência formada pela tinta que envolve a tela metálica. O primeiro passo é utilizar um rebite e retirar a ‘cabeça’ como ilustrado pela figura 3.34.



**Figura 3.34** – Retirando a ‘cabeça’ do rebite. **Fonte:** O Autor.

Encaixaremos e colaremos essa ‘cabeça’ do rebite em um orifício (próximo ao cap) da tela protetora de alimento (ver figura 3.35); em seguida fixamos o fio desencapado, que está conectada à peça em L, no orifício da cabeça do rebite.



**Figura 3.35** – Conexão do pino coletor superior com a tela protetora de alimento (mod.2). **Fonte:** O Autor.

Vale apenas salientar que pelos dois modelos, iremos ter a eletrização da cúpula do GVG, porém, como no modelo 2 há um contato mais direto entre o pino coletor e a tela, essa eletrização se dá de forma mais eficiente.

Para finalizar a etapa 1, vamos unir essa tela semiesférica com a outra tela semiesférica, que ainda não foi trabalhada. Para essa fixação, vamos fornecer três soluções, mentalizada por mim e pelo meu orientador. Essas ideias estão ilustradas pelas figuras 3.36, 3.37 e 3.38.



**Figura 3.36** – Fixação entre as telas semiesféricas via pedaço de metal moldado em U. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.37** – Fixação entre as telas semiesféricas via a quatro prendedores de papel. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.38** – Fixação entre as telas semiesféricas via elásticos. **Fonte:** O Autor.

Concluimos assim a etapa 1, onde foi construído a esfera condutora do nosso GVG. Após a conclusão das etapas 2 e 3, esta peça irá se encaixar na parte superior da coluna do gerador.

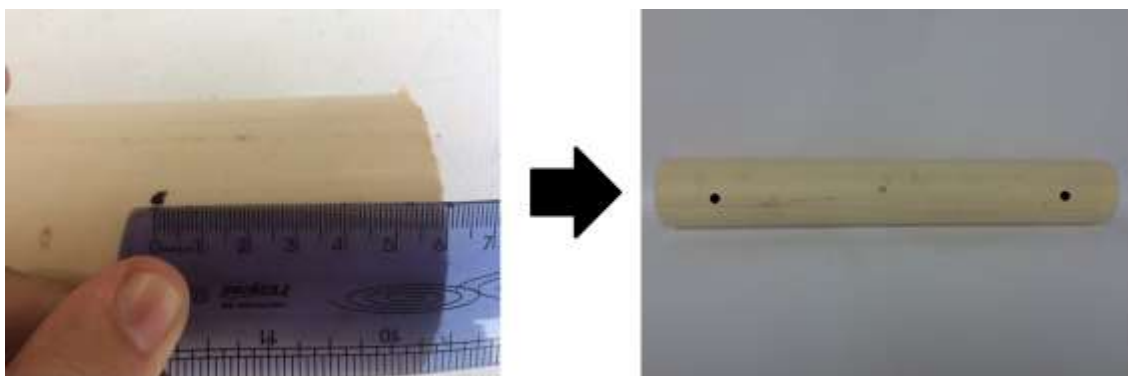
## ETAPA 2: PROCESSO DE MONTAGEM DA COLUNA DO GVG

Para dar início a essa etapa, iremos certificar se o tubo PVC de 75 mm de diâmetro, está com 50 cm de comprimento (ver figura 3.39).



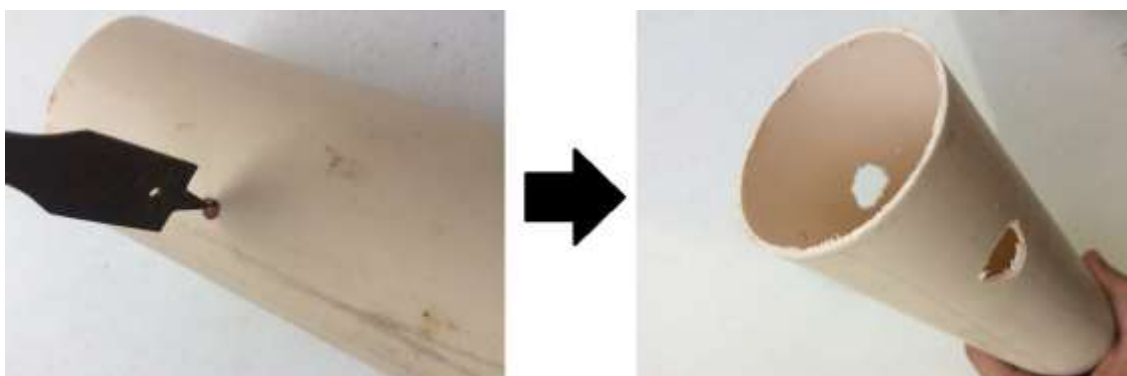
**Figura 3.39** – Tubo PVC (75 mm) com 50 cm de comprimento. **Fonte:** O Autor.

Após a verificação, iremos fazer os furos onde serão colocados os roletes inferior e superior do GVG. Primeiramente faremos as marcações onde iremos furar (ver figura 3.40); de maneira linear, marcamos dois pontos à 6 cm de cada extremidade do tubo.



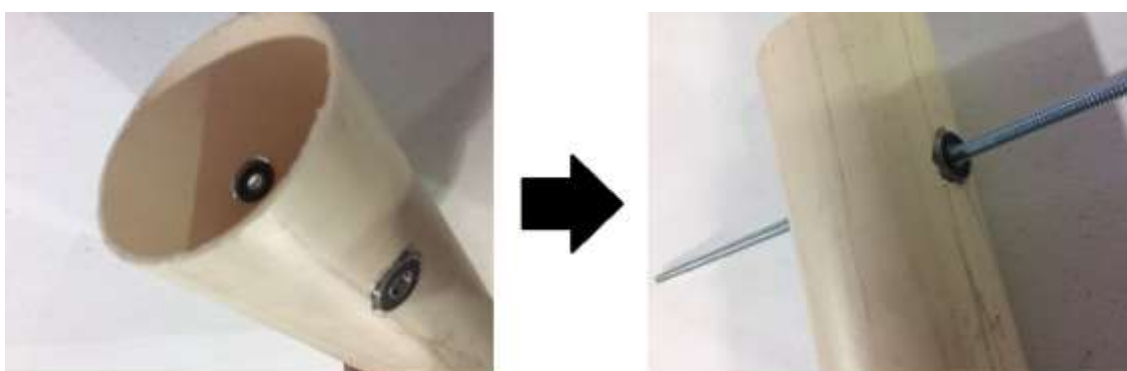
**Figura 3.40** – Marcação do posicionamento dos roletes no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Com o tubo na horizontal e com uma furadeira (usando uma broca ponta chata 3/4) perfeitamente na vertical, execute o furo em uma das extremidades do tubo conforme ilustra a figura 3.41.



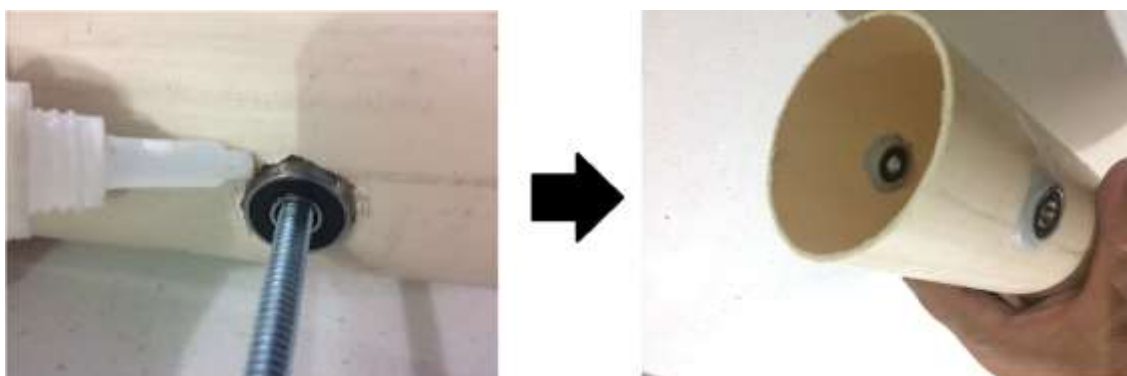
**Figura 3.41** – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Nesses furos serão acoplados dois rolamentos 607 (ver figura 3.42). Encaixe a barra rosqueada de 1/4 nos rolamentos para verificar o alinhamento entre eles.



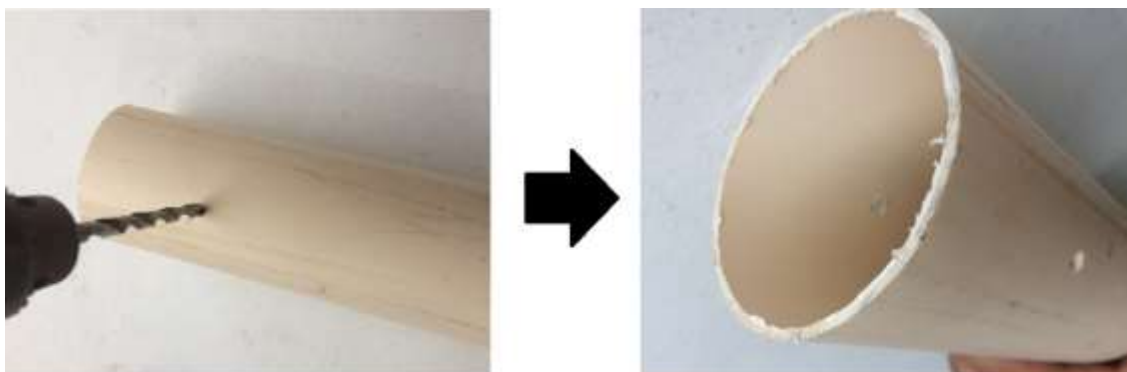
**Figura 3.42** – Verificando o alinhamento entre os rolamentos via barra rosqueada. **Fonte:** O Autor.

Após a verificação, fixe os rolamentos ao tubo utilizando cola instantânea (ver figura 3.43). Em seguida faça o acabamento ao redor do rolamento utilizando a massa epóxi.



**Figura 3.43** – Fixando os rolamentos ao tubo PVC 75 mm com massa epóxi. **Fonte:** O Autor.

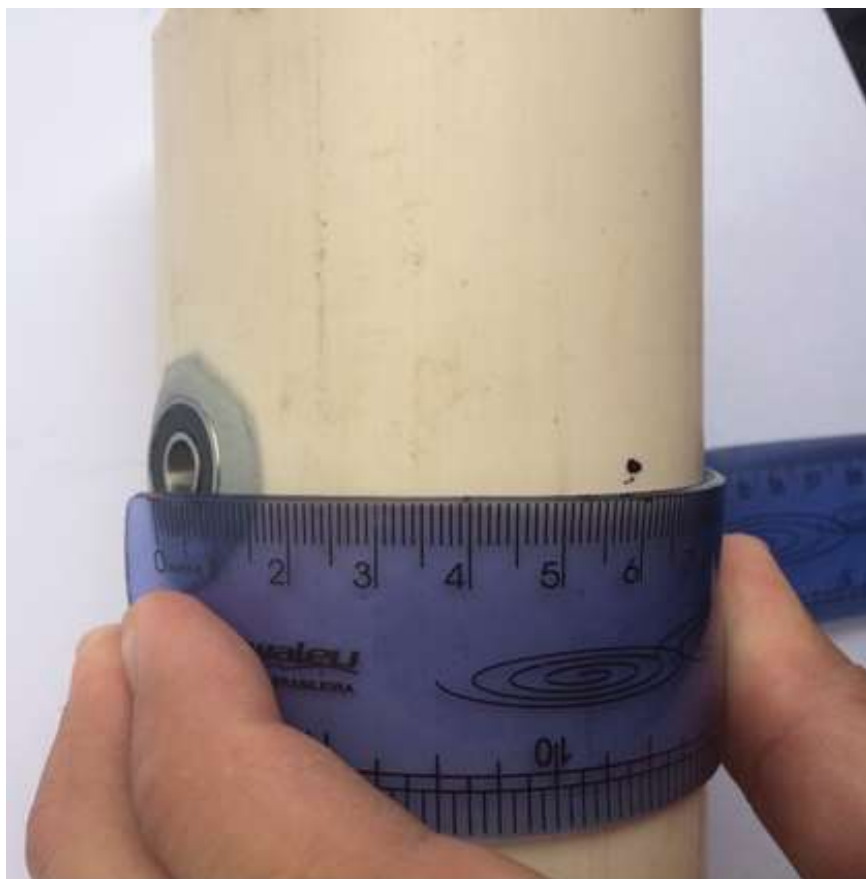
Deixe a massa epóxi secar por 2h e em seguida execute os furos na outra extremidade do tubo utilizando a furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.44).



**Figura 3.44** – Furação do tubo PVC 75 mm para posicionar o rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Vamos iniciar as aberturas laterais no tubo. Tais aberturas servirão como uma espécie de janela, onde iremos visualizar o movimento da correia pelo interior do tubo e como um possível acesso ao ar quente de um secador de cabelo, caso se deseje tirar a umidade da correia.

Conforme ilustra a figura 3.45, faça uma marcação no ponto médio do arco que une os dois rolamentos fixos no tubo.



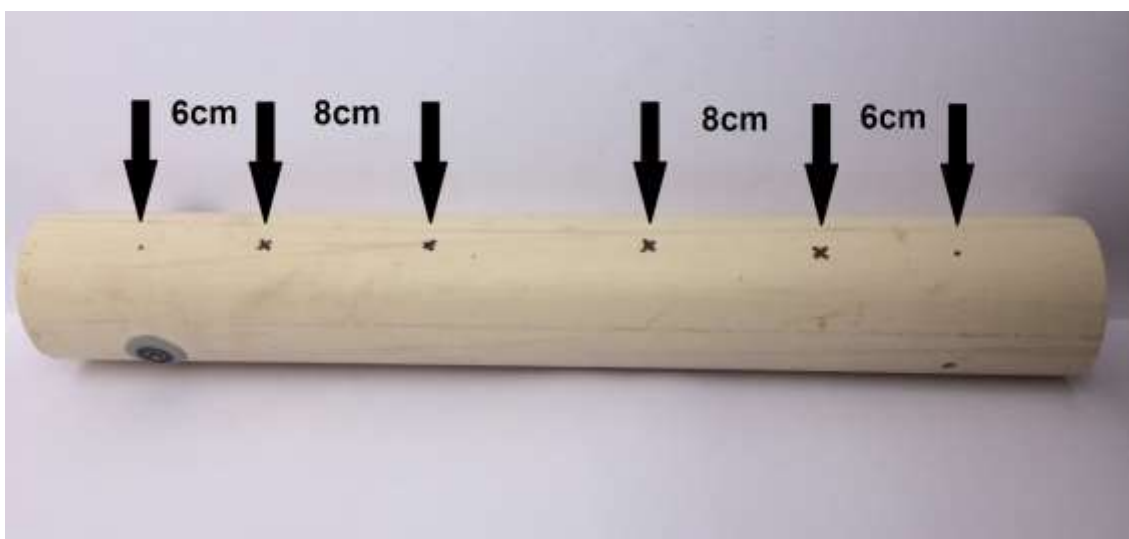
**Figura 3.45** – 1ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

De forma semelhante, faça a marcação na outra extremidade do tubo (ver figura 3.46); ou seja, no ponto médio do arco que une os dois furos.



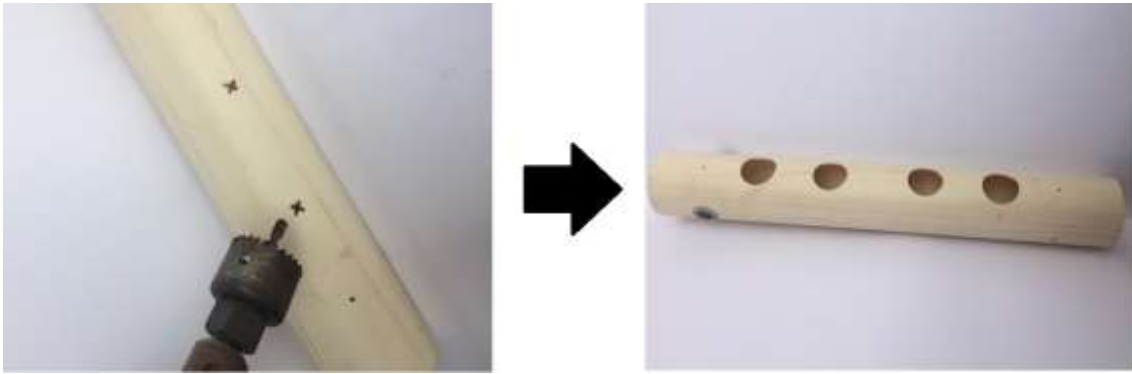
**Figura 3.46** – 2ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Entre esses dois pontos, faça mais quatro marcações; conforme as medidas que estão indicadas na figura 3.47.



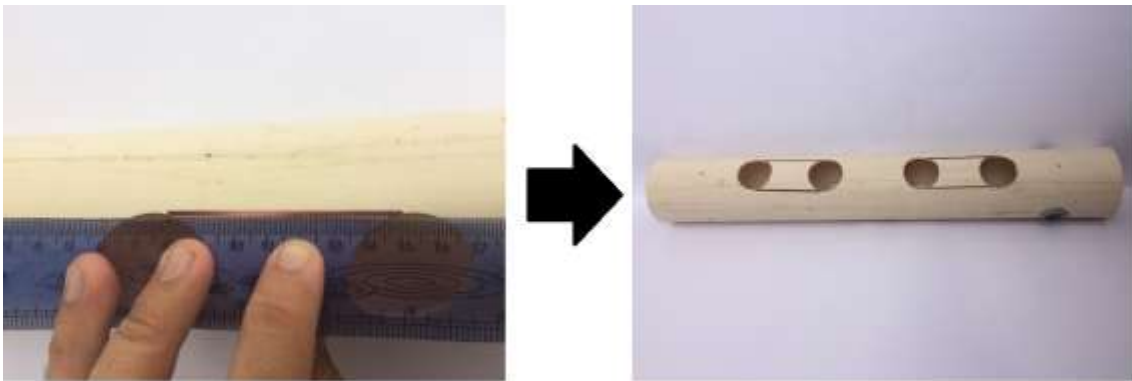
**Figura 3.47** – 3ª Marcação para execução da abertura lateral no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Com uma furadeira e uma serra copo de 1" ½, execute os furos nas quatro últimas marcações feitas (ver figura 3.48).



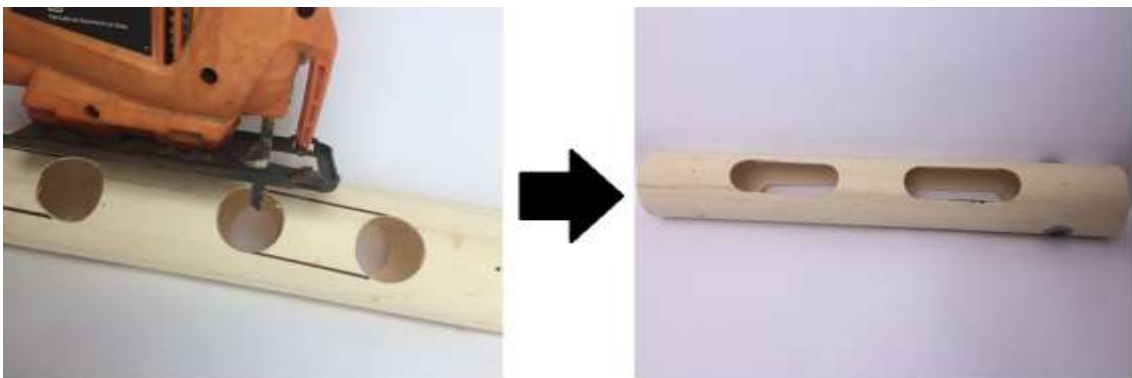
**Figura 3.48** – Execução dos furos laterais no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Faça no tubo, duas retas paralelas de forma tangencial aos dois furos de cada extremidade (ver figura 3.49).



**Figura 3.49** – Marcação das linhas tangenciais aos furos feitos no passo anterior. **Fonte:** O Autor.

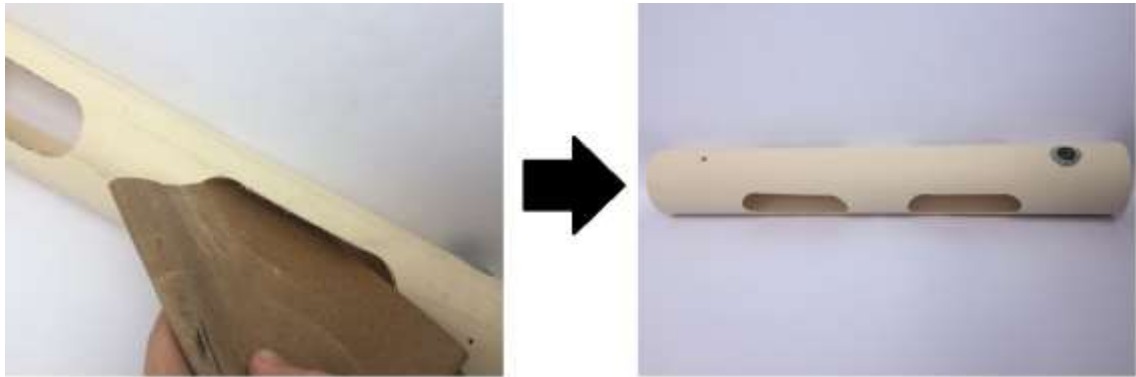
Execute o corte utilizando a serra tico-tico ou qualquer serra que esteja ao seu alcance (ver figura 3.50).



**Figura 3.50** – Execução dos cortes para as aberturas laterais no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

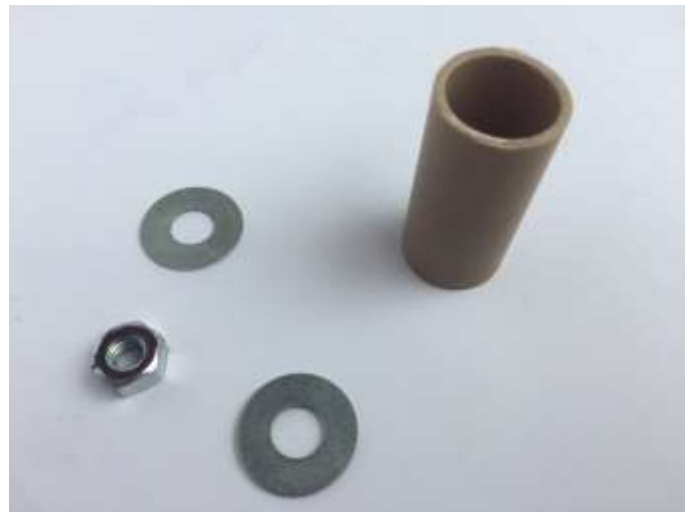
Faça o mesmo procedimento para a abertura lateral do tubo no lado oposto e lixe a peça (ver figura 3.51).





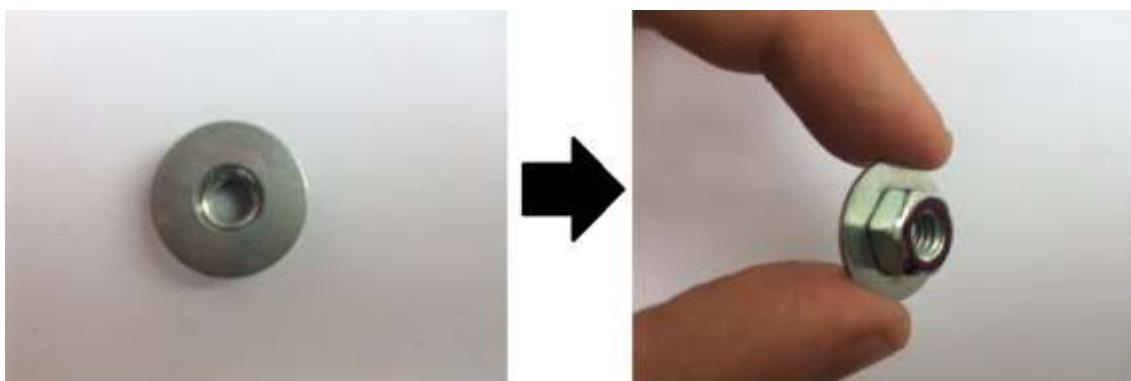
**Figura 3.51** – Acabamento das aberturas laterais. **Fonte:** O Autor.

Para finalizar essa etapa, vamos incluir nesse tubo os roletes e a correia transportadora de carga. Começando com o rolete inferior, tomemos em mãos um dos dois pedaços de 5cm do tubo PVC com 20mm de diâmetro, duas arruelas para parafuso de 1/4 e uma porca sextavada de 1/4 (ver figura 3.52).



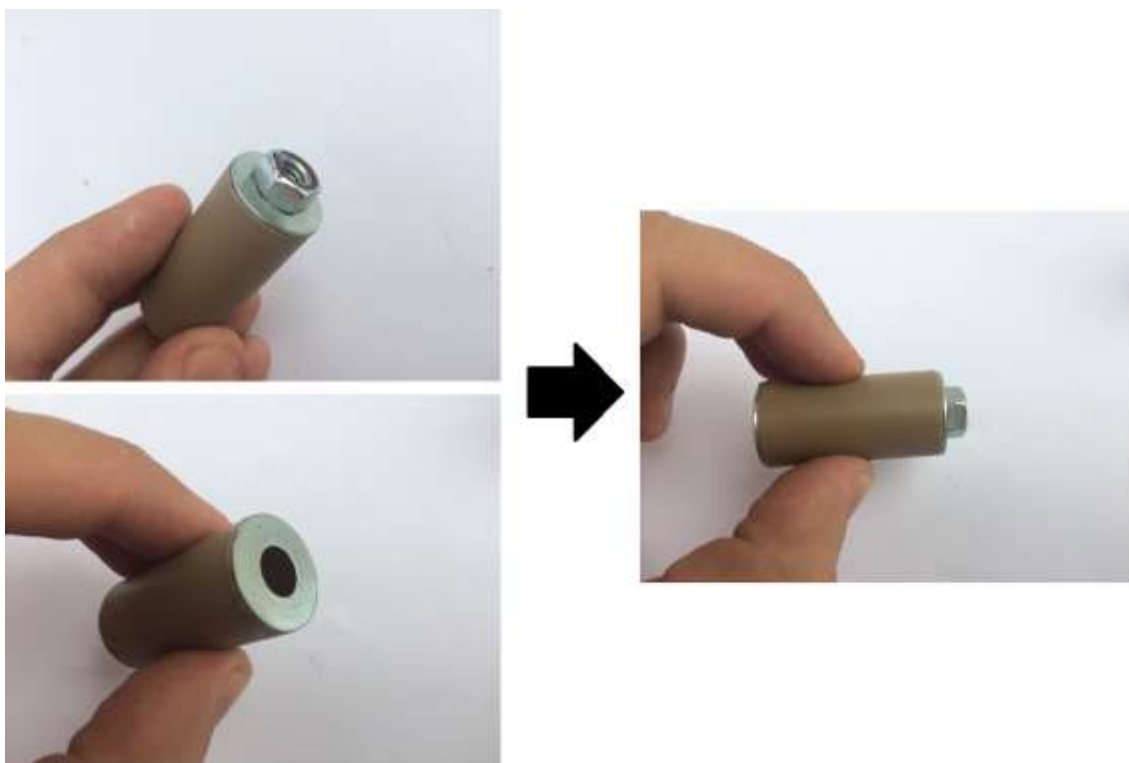
**Figura 3.52** – Componentes para a construção do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Com o auxílio da cola instantânea, vamos fixar uma das arruelas à porca de forma que os orifícios centrais fiquem bem alinhados (ver figura 3.53).



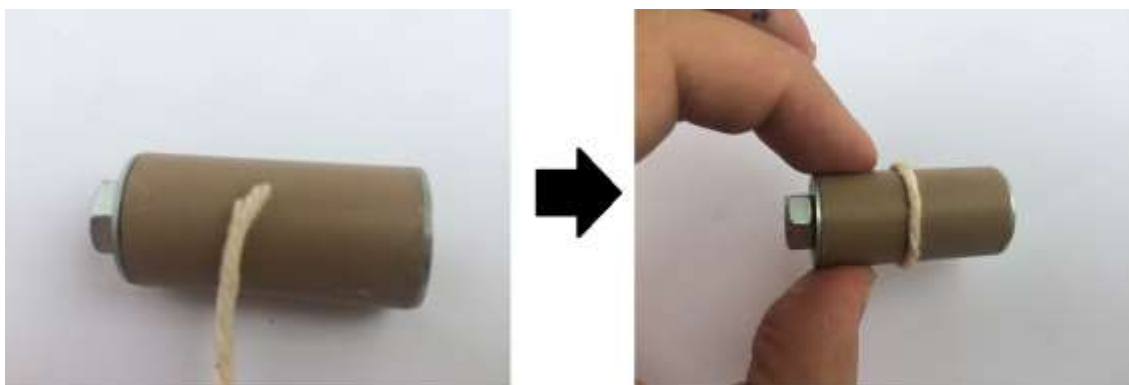
**Figura 3.53** – Colando a arruela na porca via cola instantânea. **Fonte:** O Autor.

Ainda utilizando a cola instantânea, fixemos a peça, esquematizada pela figura 3.53, à uma extremidade do tubo PVC de 5cm e a arruela na outra extremidade (ver figura 3.54).



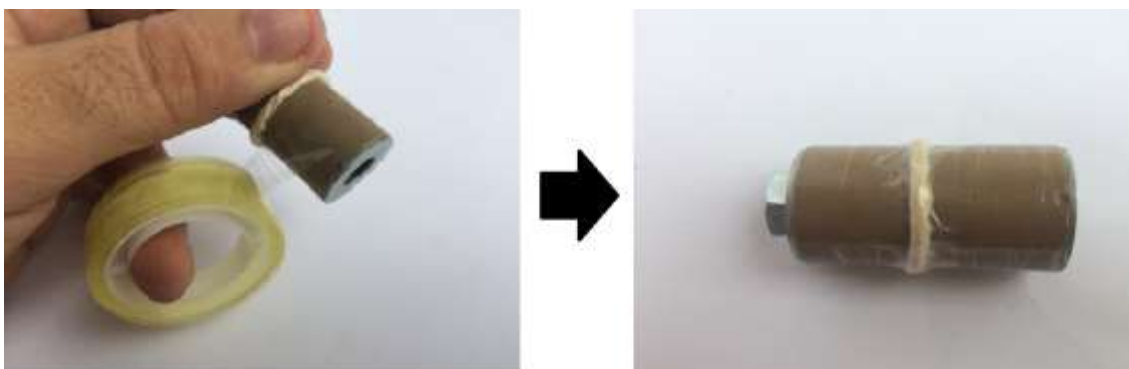
**Figura 3.54** – Fixação dos componentes do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Com o barbante, daremos uma volta na peça ilustrada pela figura 3.54, exatamente no ponto médio do comprimento desse tubo de 5cm (ver figura 3.55). Essa “voltinha” poderá ser fixada com a cola instantânea e servirá como uma espécie de guia para a correia se manter no centro do rolete, não a deixando escapar para os lados.



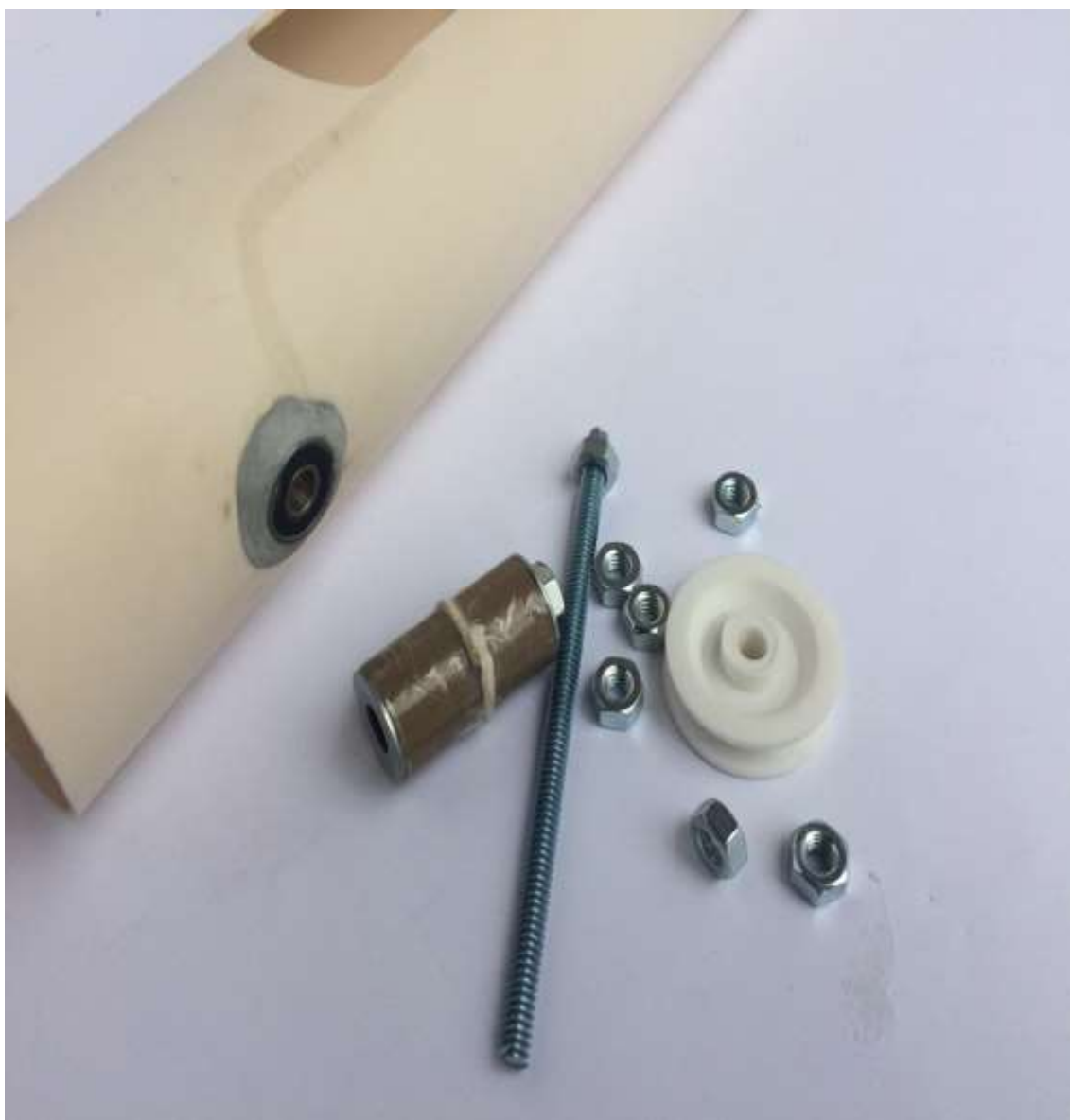
**Figura 3.55** – Colando uma volta de barbante no ponto médio do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Para finalizar o rolete inferior do GVG vamos envolver todo o comprimento da peça acima com fita adesiva incolor (ver figura 3.56).



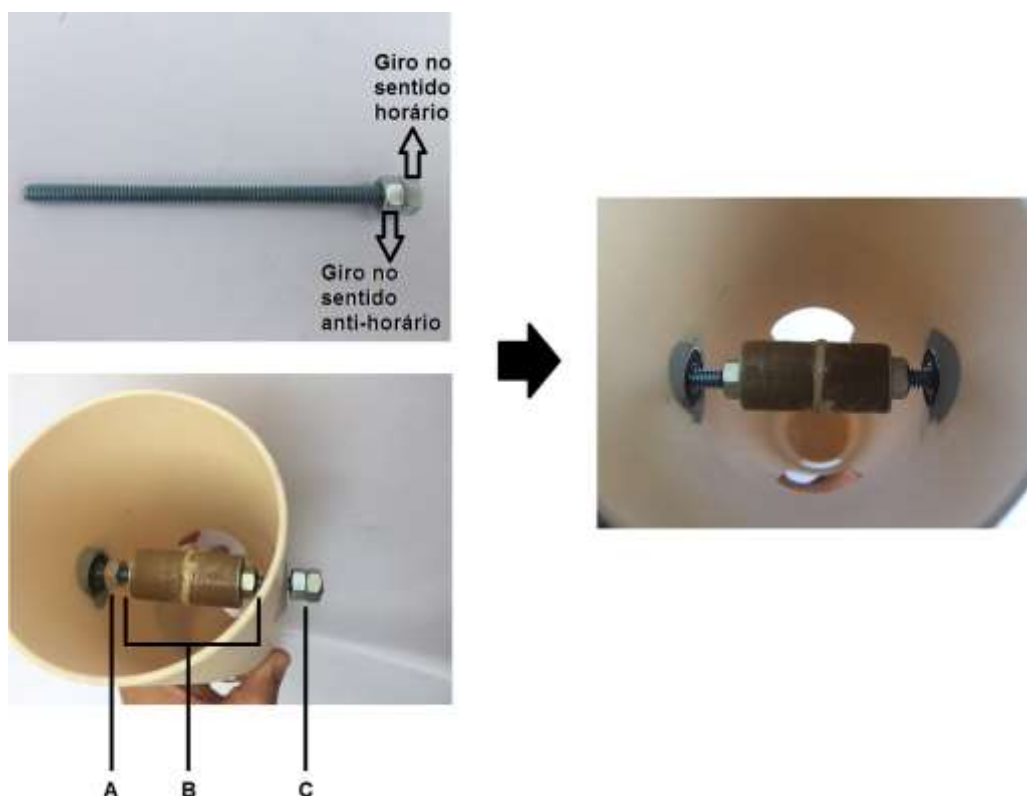
**Figura 3.56** – Envolvendo o rolete inferior do GVG com fita adesiva incolor. **Fonte:** O Autor.

Vamos encaixar a peça acima na parte inferior do tubo PVC que será a coluna do nosso GVG. Para isso, iremos precisar de 12 cm da barra rosqueada de 1/4, 7 porcas e a roldana plástica (ver figura 3.57).

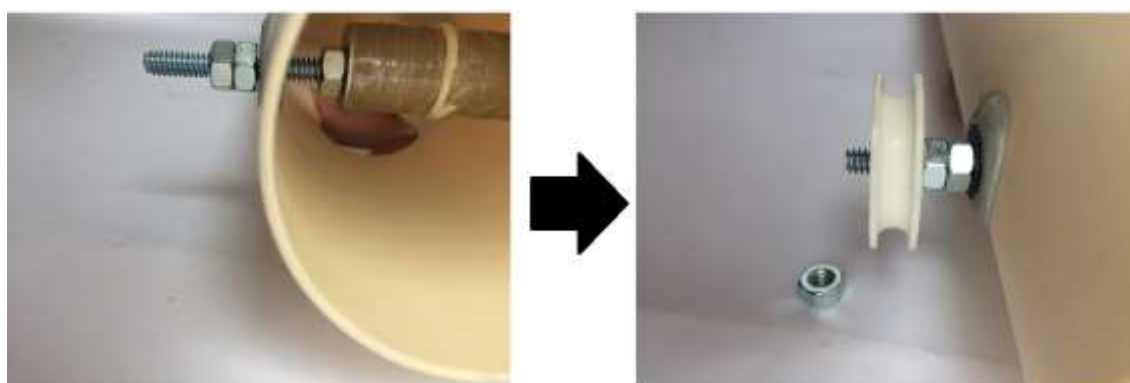


**Figura 3.57** – Componentes para o encaixe do rolete inferior no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Numa das extremidades do pedaço da barra rosqueada, iremos prender (sob pressão) duas porcas rosqueando fortemente uma contra a outra, em seguida introduzimos essa peça no orifício do rolamento, que está fixo ao tubo PVC (coluna do GVG), de modo que a sequência fique: A - porca, B - rolete (esse ficará centralizado na parte interna do tubo) e C - as duas porcas presas sob pressão. Feito isso, fixaremos A com B (também sob pressão) rosqueando um contra o outro (ver figura 3.58). Na outra extremidade desse pedaço de barra rosqueada, iremos fixar mais duas porcas sob pressão (rosqueando uma contra a outra) e colocaremos a roldana plástica em seguida (ver figura 3.59).

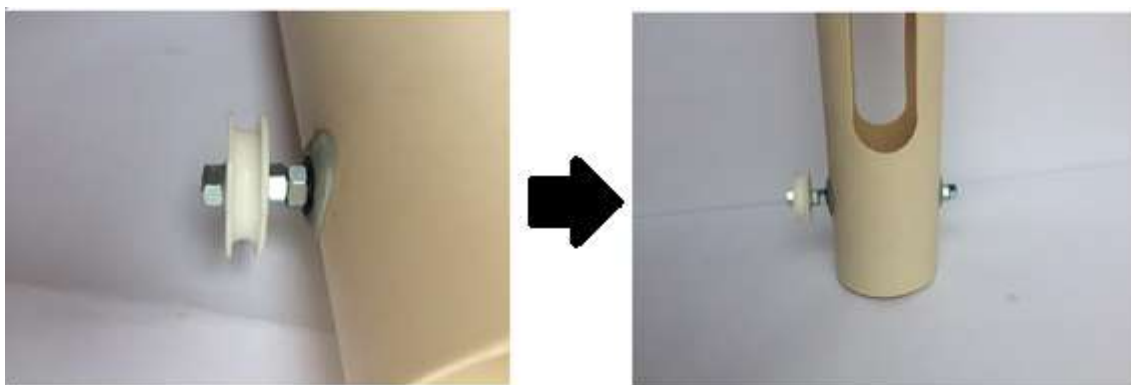


**Figura 3.58** – Encaixe do rolete inferior do GVG no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.



**Figura 3.59** – Fixando a roldana ao eixo do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Rosqueando a última porca, fixaremos a roldana ao pedaço da barra rosqueada devido a pressão entre as porcas. Com isso, iremos finalizar todo o mecanismo para o rolete inferior do GVG (ver figura 3.60).



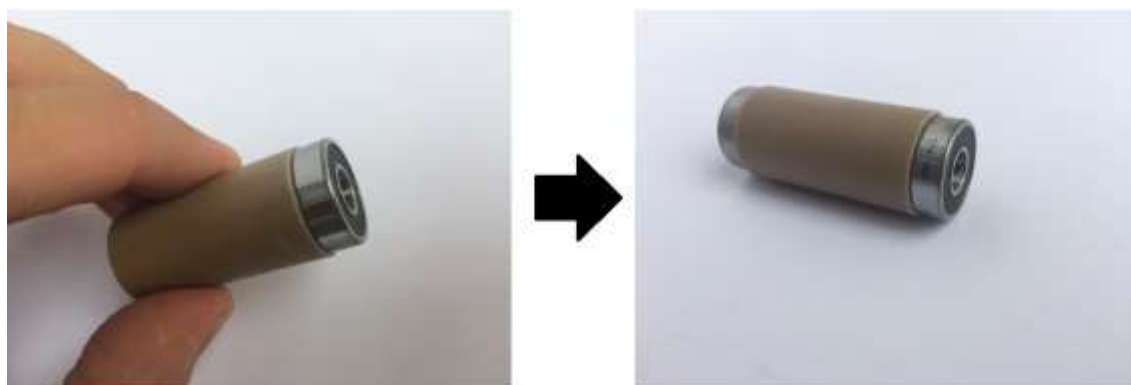
**Figura 3.60** – Finalizando o encaixe do rolete inferior do GVG ao tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Para o rolete superior, usaremos as outras duas roldanas 607, o outro pedaço de 5 cm do tubo PVC de 20 mm de diâmetro e a cola instantânea (ver figura 3.61).



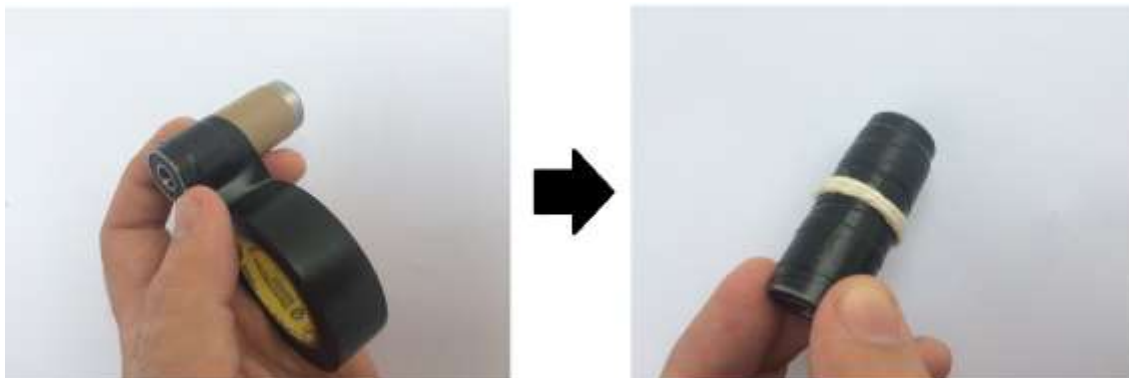
**Figura 3.61** – Componentes para a construção do rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Começaremos colando um rolamento a cada extremidade do tubo (ver figura 3.62).



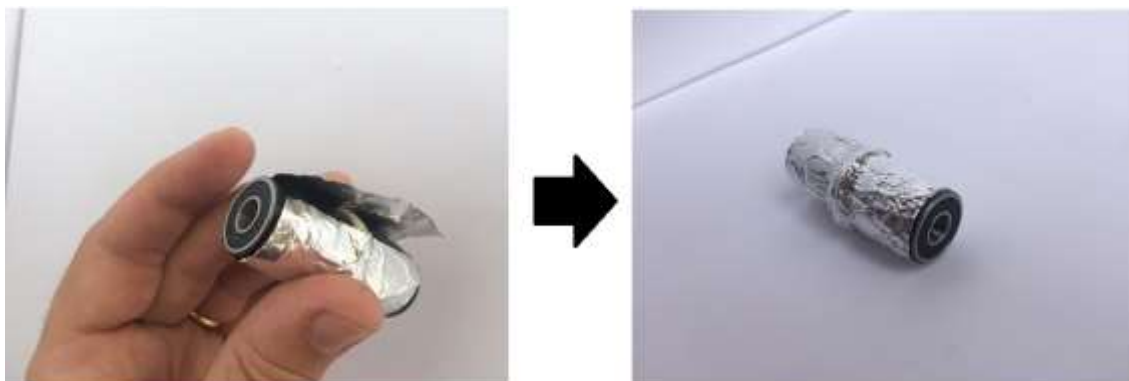
**Figura 3.62** – Colando os rolamentos nas extremidades do tubo PVC 20 mm. **Fonte:** O Autor.

Vamos envolver todo o comprimento da peça com fita isolante e colar uma volta de barbante no ponto médio (ver figura 3.63).



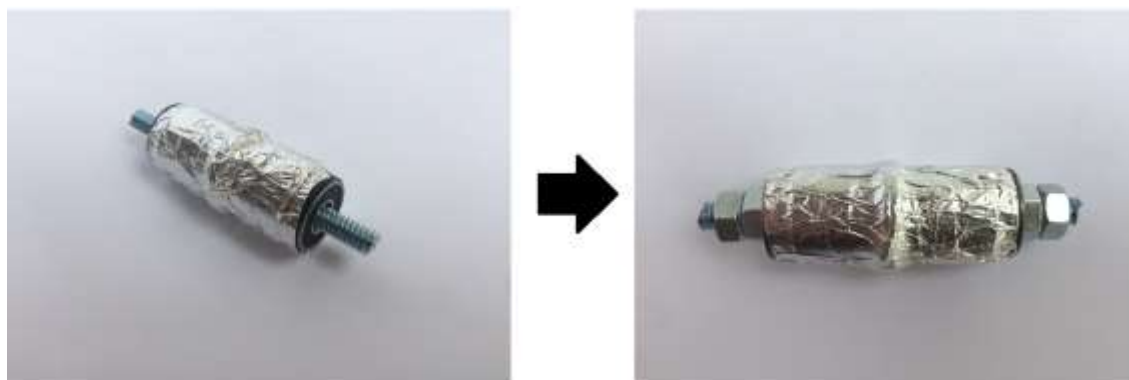
**Figura 3.63** – Envolvendo fita isolante no rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Em seguida, também com a cola instantânea, colaremos o pedaço de papel alumínio (4 cm x 8 cm) ao redor da peça acima (ver figura 3.64).



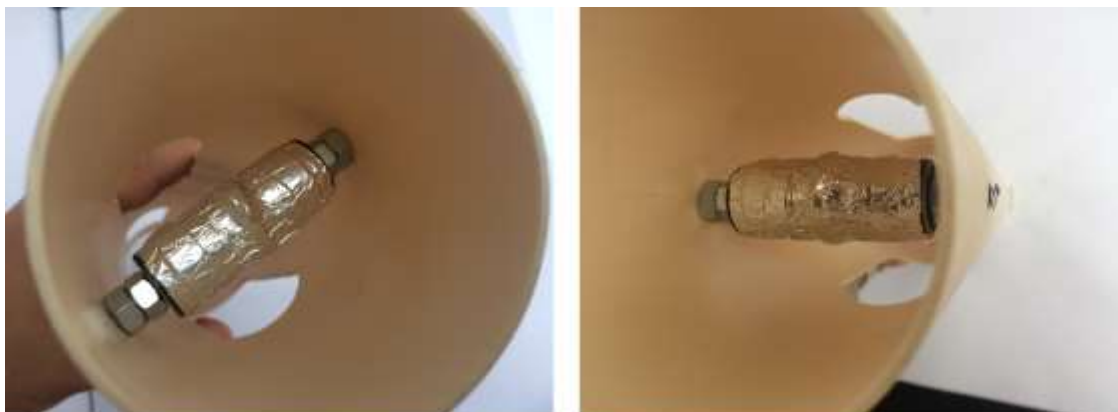
**Figura 3.64** – Colando papel alumínio no rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Para o eixo desse rolete, usaremos 8 cm da barra rosqueada de 1/4 com duas porcas fixas, rosqueadas fortemente uma contra a outra, em cada extremidade do eixo (ver figura 3.65). Devemos tomar cuidado para não travarmos o rolete contra as porcas.



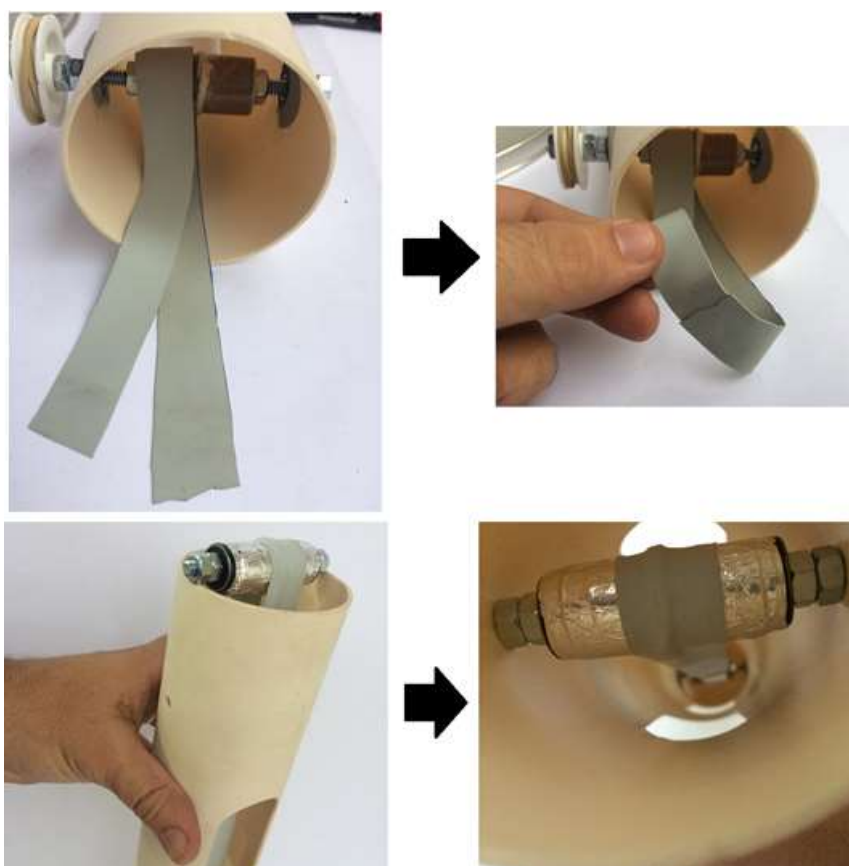
**Figura 3.65** – Finalizando o rolete superior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Note no esquema da figura 3.65, que devemos deixar, em ambos os lados, uns 3 mm do pedaço da barra rosqueada para fora da porca. Essa saliência servirá para encaixar o rolete na parte superior do tubo que será a coluna do GVG (ver figura 3.66).



**Figura 3.66** – Encaixando o rolete superior do GVG no tubo PVC 75 mm. **Fonte:** O Autor.

Para instalar a correia entre os roletes, cortaremos 2cm x 50cm da faixa elástica e com a cola instantânea colaremos as extremidades após passar o pedaço cortado da faixa pelo rolete inferior do GVG. Após a secagem da cola, encaixaremos a correia ao rolete superior do GVG (ver figura 3.67).



**Figura 3.67** – Instalação da correia do GVG entre os roletes inferior e superior. **Fonte:** O Autor.

Assim finalizamos a etapa 2 onde se focou na construção da coluna do nosso GVG (ver figura 3.68).



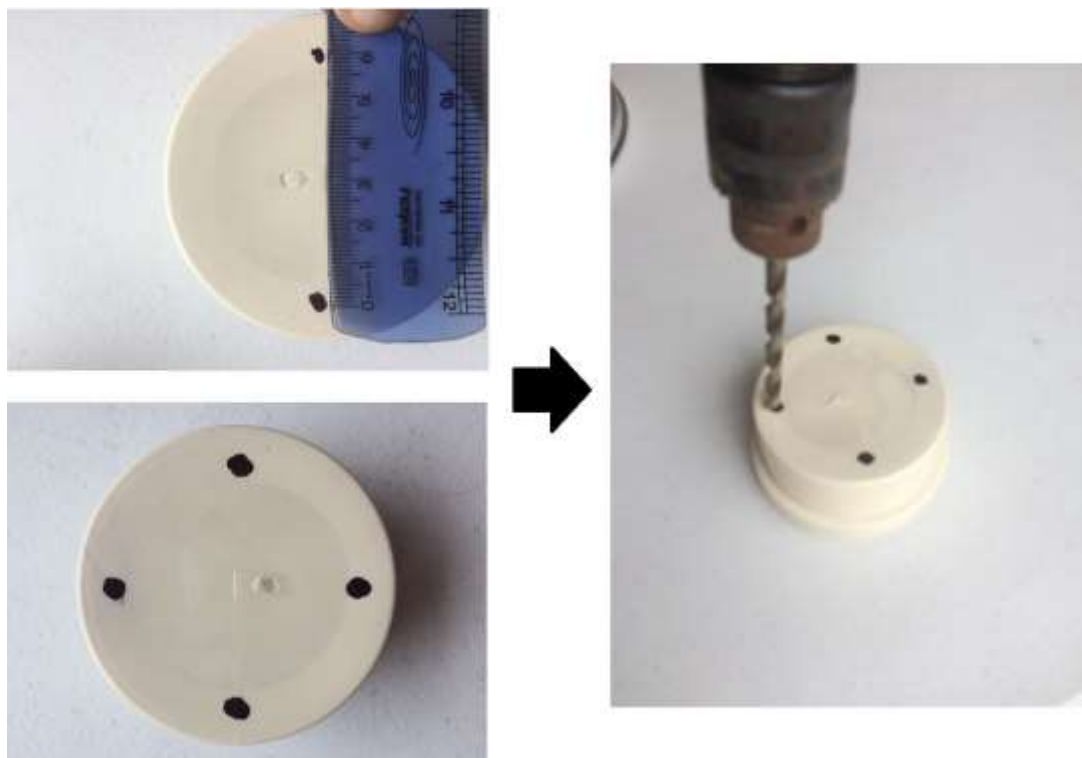
**Figura 3.68** – Coluna do nosso modelo de GVG. **Fonte:** O Autor.

Após a conclusão de todas as etapas, veremos que a peça acima se encaixará, pela parte inferior, à peça que iremos construir na etapa 3 (base do GVG) e a esfera construída na etapa 1 se encaixará na parte superior desse tubo.



### ETAPA 3: PROCESSO DE MONTAGEM DA BASE DO GVG

Iniciaremos essa etapa fixando um cap do tubo pvc 75 mm no centro da forma de pizza. Para tal tarefa, primeiramente faremos as marcações no cap onde executaremos os furos com o auxílio de uma furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.69).



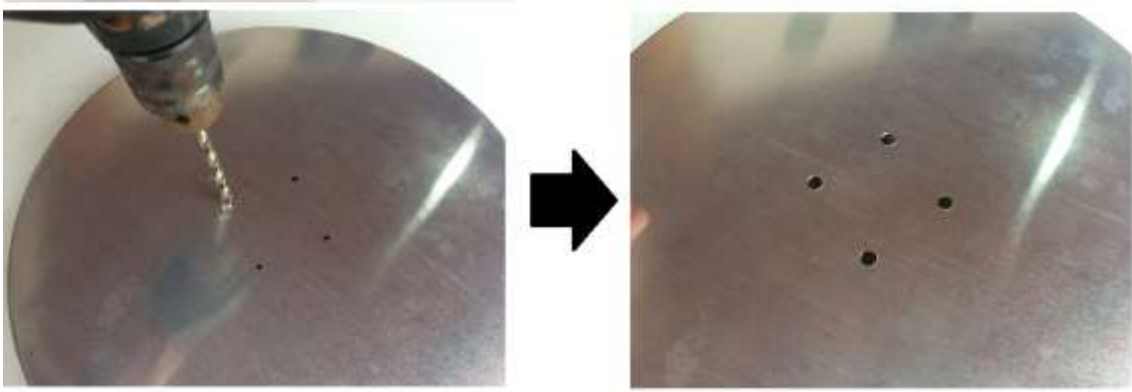
**Figura 3.69** – Marcações e execuções dos furos no cap. **Fonte:** O Autor.

Após a execução dos furos, alinhamos o cap na parte central da forma de pizza de modo que um esteja de “costas” para o outro. Assim, faça as marcações na forma de pizza conforme ilustra a figura 3.70.



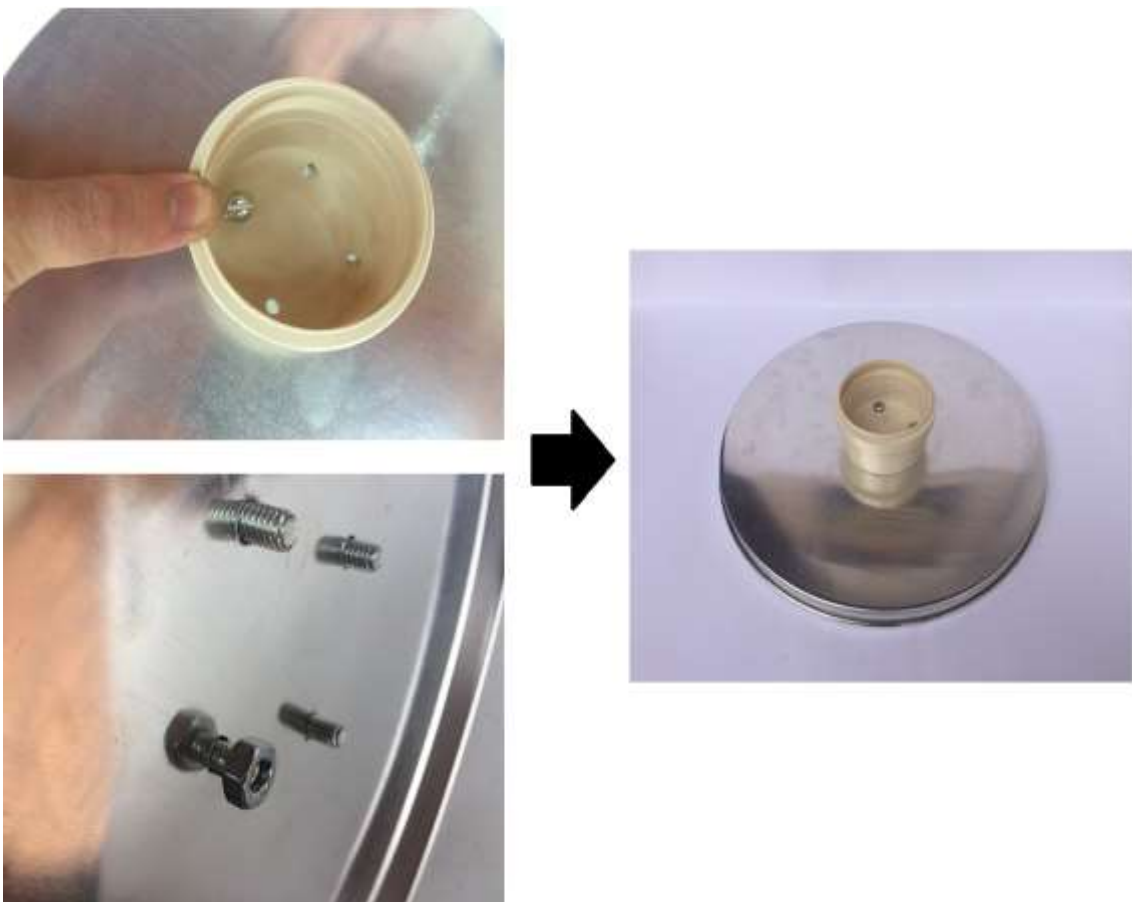
**Figura 3.70** – Marcações para a execução dos furos na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Execute agora, os furos na forma de pizza, utilizando a mesma broca que furou o cap (ver figura 3.71).



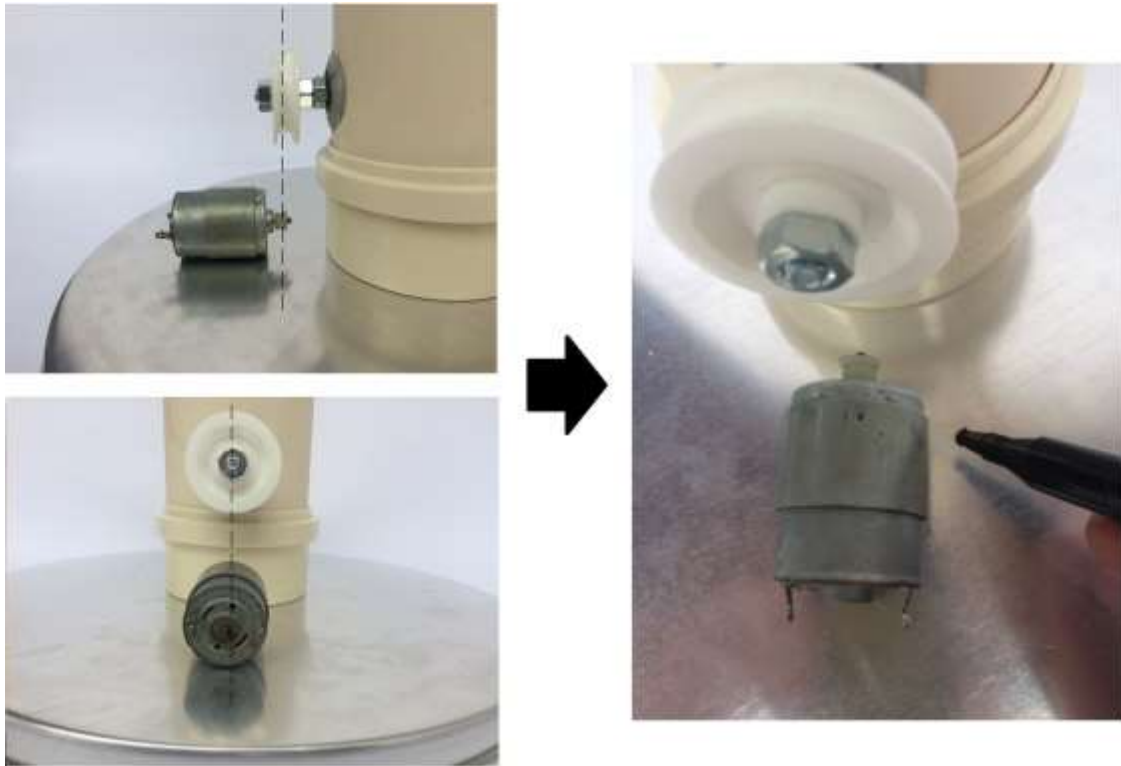
**Figura 3.71** – Execução dos furos na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Com os quatro parafusos fenda limão 1/4 x 1/2 e as quatro porcas de 1/4 prenda o cap à forma de pizza (ver figura 3.72).



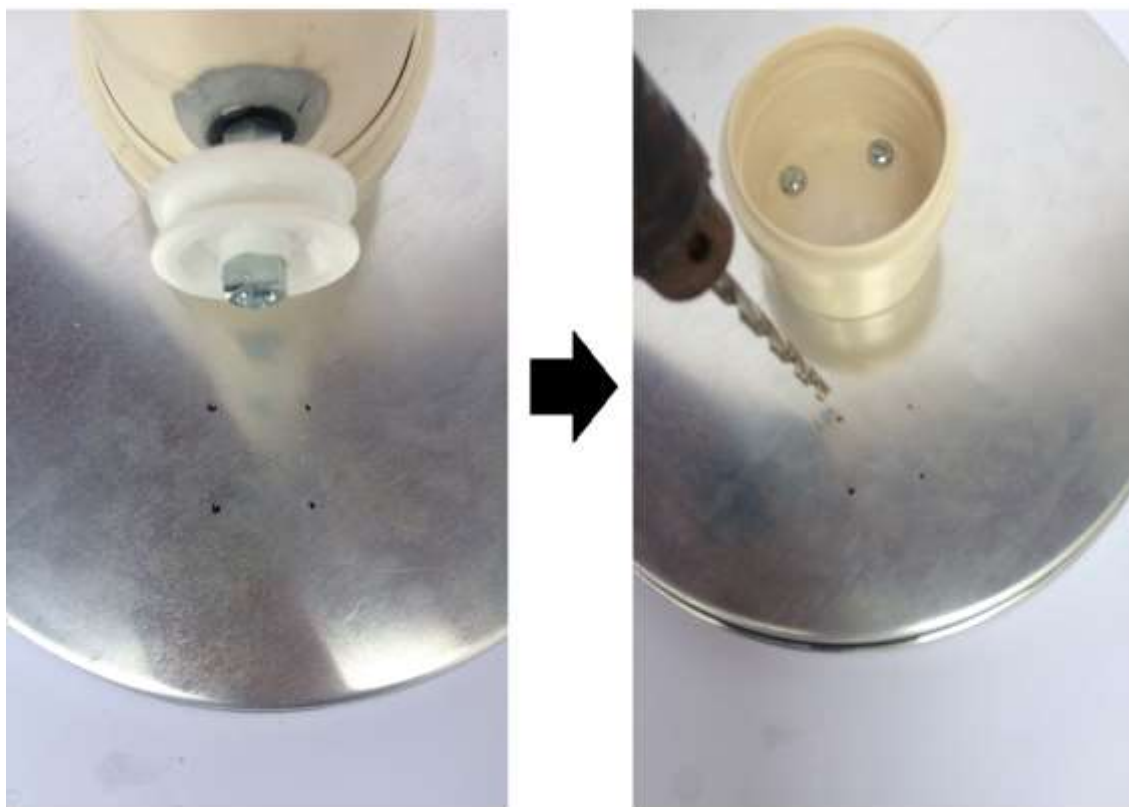
**Figura 3.72** – Fixação do cap na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

A seguir, vamos encaixar a peça da etapa 2 ao CAP que está preso à forma de pizza. Em seguida, coloque o motor de impressora 12V em cima da forma de pizza, de modo que a roldana plástica da coluna do GVG fique alinhada verticalmente sobre a roldana do motor (ver figura 3.73). Após verificar o alinhamento, faça as marcações onde furaremos e fixaremos o motor à forma de pizza.



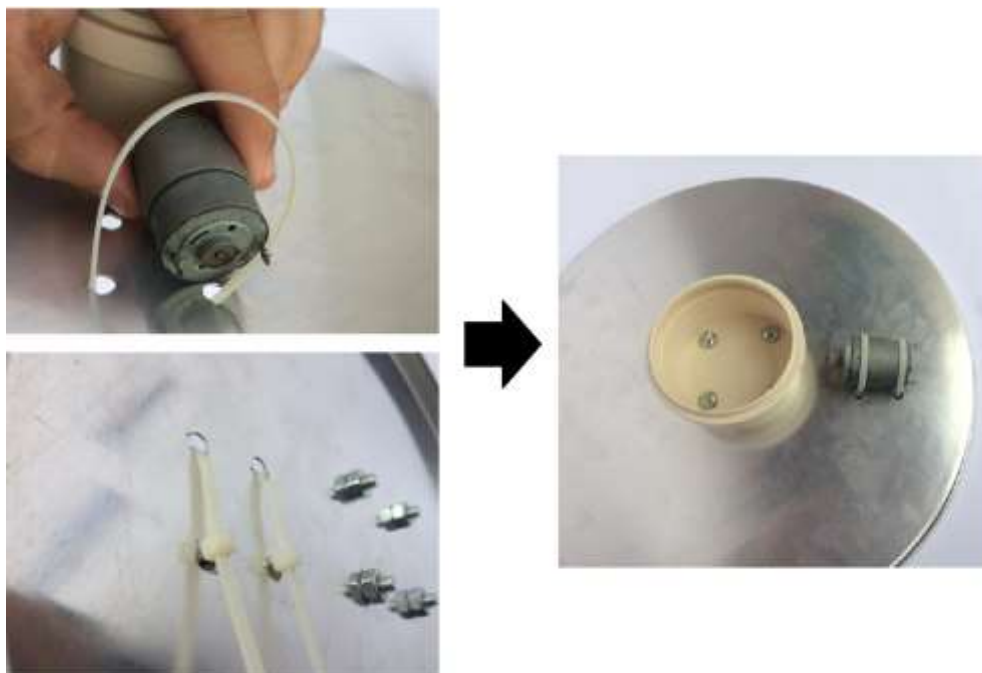
**Figura 3.73** – Posicionando o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Feitas as marcações, executaremos o furo na forma de pizza com a furadeira e uma broca de 1/4 (ver figura 3.74).



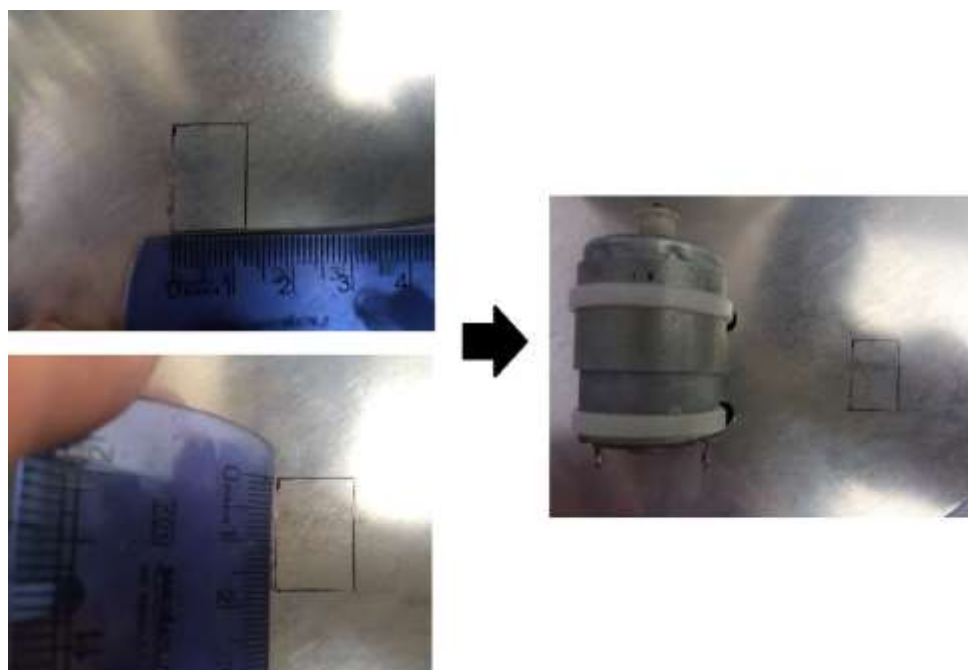
**Figura 3.74** – Execução dos furos para fixar o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Após furar, prenderemos o motor à forma de pizza utilizando duas abraçadeiras de plástico (ver figura 3.75).



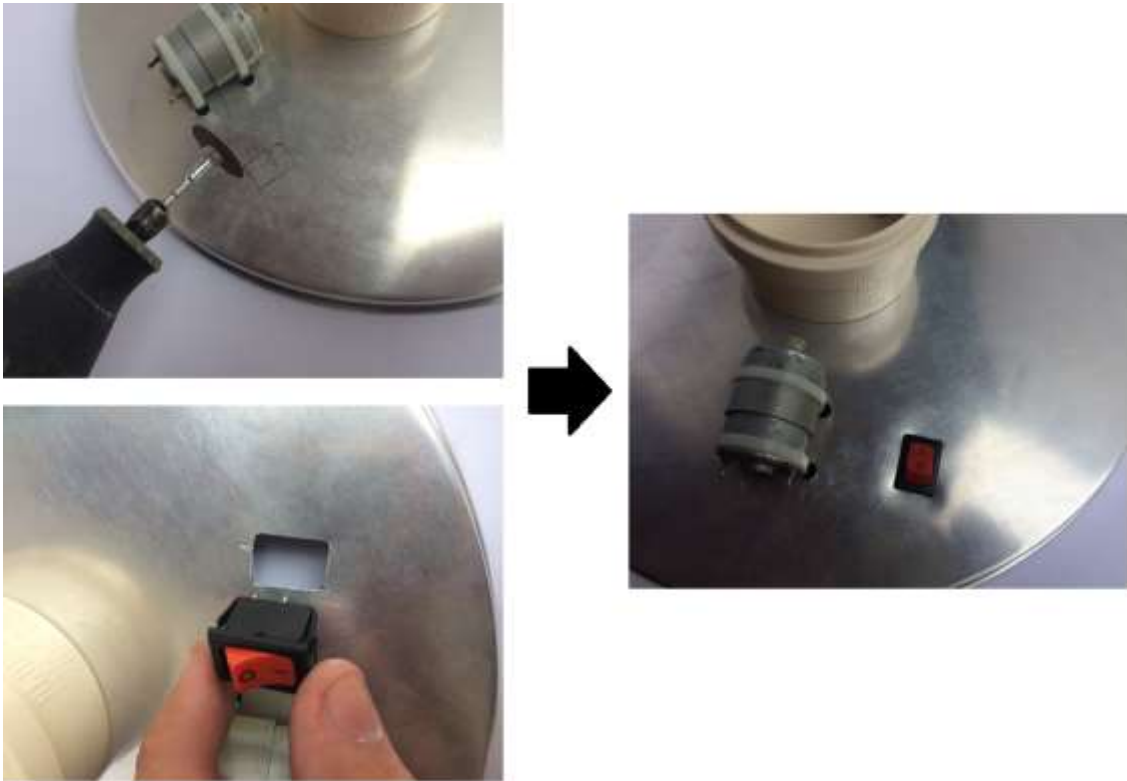
**Figura 3.75** – Prendendo o motor do GVG na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Chegou a hora de incorporar a parte elétrica à base do nosso GVG. Começando pela chave margirius, desenharemos um retângulo de dimensões 1,2 cm x 1,8 cm ao lado do motor e sobre a forma de pizza (ver figura 3.76).



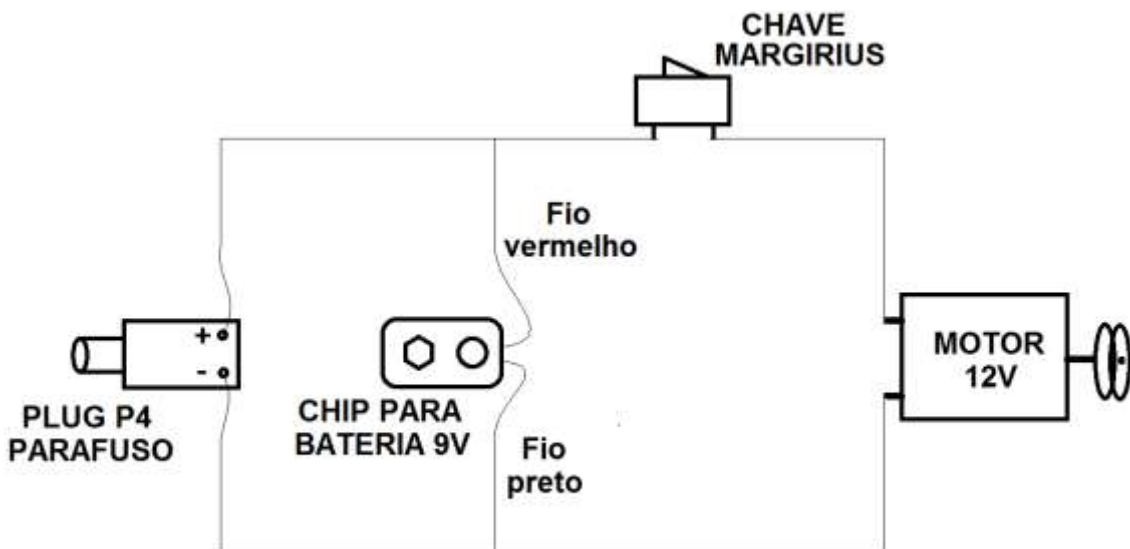
**Figura 3.76** – Fazendo a marcação para fixar a chave lig/desl. na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

Utilizando uma serra circular de uma micro retífica, executaremos o corte na forma de pizza e encaixaremos a chave margirius na forma (ver figura 3.77).



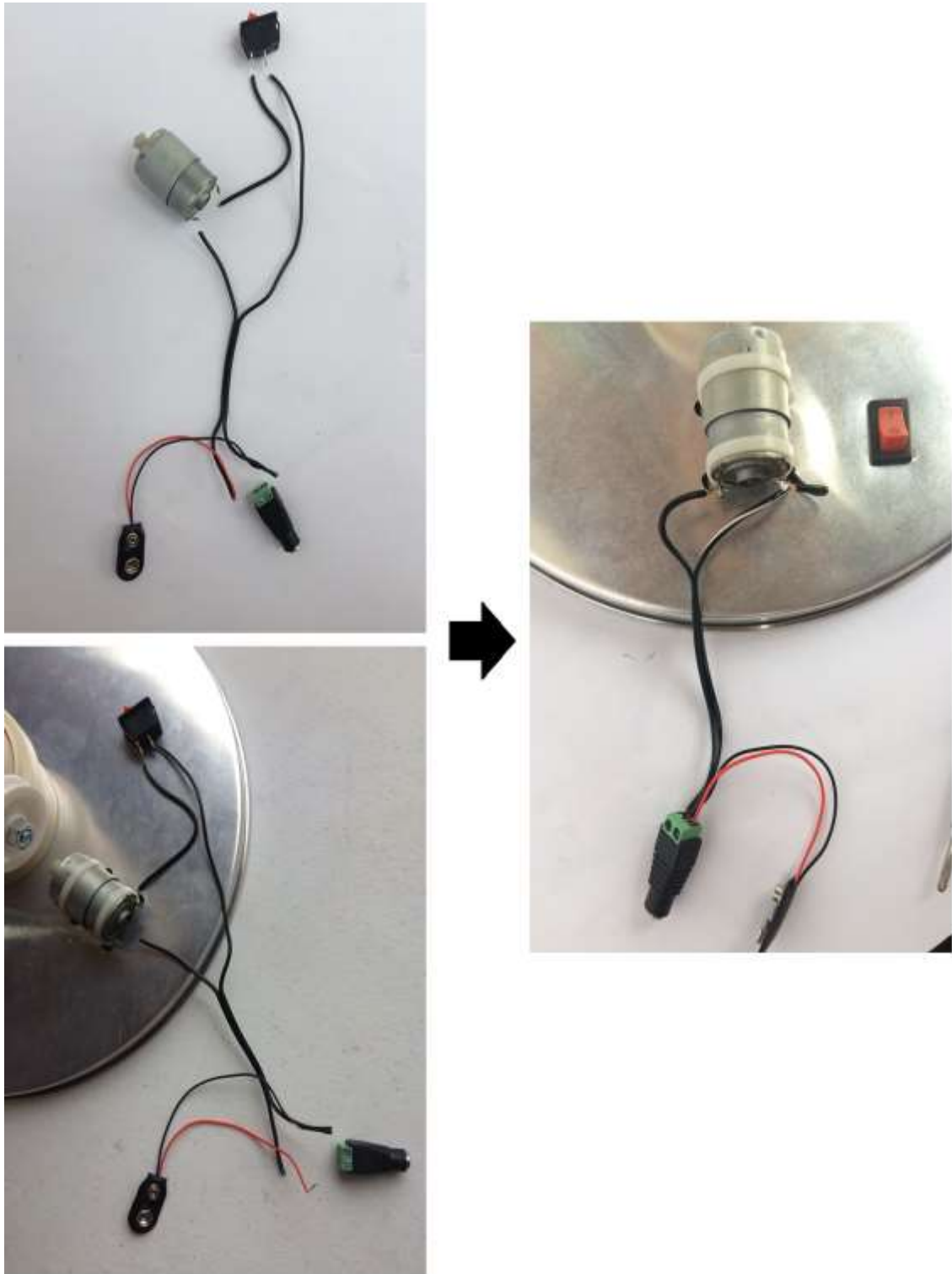
**Figura 3.77** – Execução do corte para fixar a chave margirius na forma de pizza. **Fonte:** O Autor.

As conexões entre os componentes elétricos (motor 12v, chave margirius, chip para bateria 9v e o Plug p4 parafuso) se dará através do fio paralelo 1mm e deverá respeitar o esquema ilustrado na figura 3.78.



**Figura 3.78** – Esquema elétrico para acionar o motor do GVG via Plug P4 ou bateria 9V. **Fonte:** O Autor.

Com o ferro de solda para eletrônica, solde os terminais do fio aos componentes eletrônicos. Na figura 3.79, temos uma sugestão para a “arrumação” do circuito elétrico.

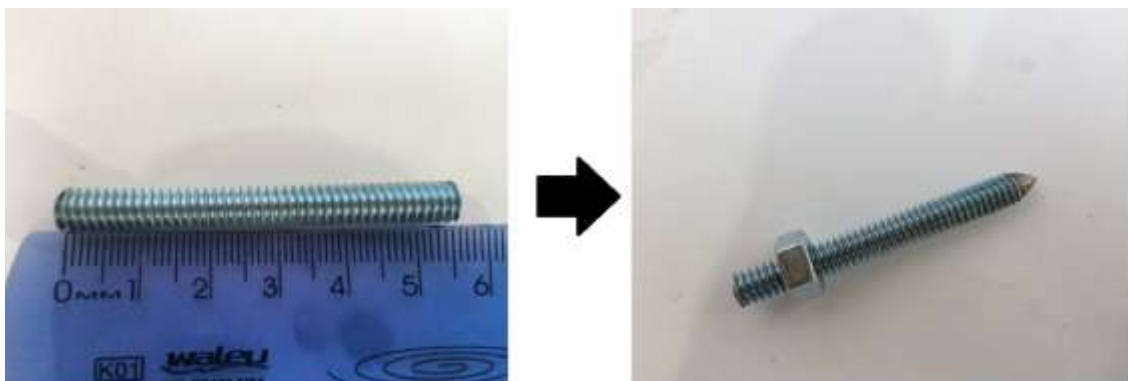


**Figura 3.79** – Sugestão para a arrumação da parte elétrica do nosso GVG. **Fonte:** O Autor.

Repare que o fio entre a chave margirius e o motor foi passado por baixo da forma de pizza.

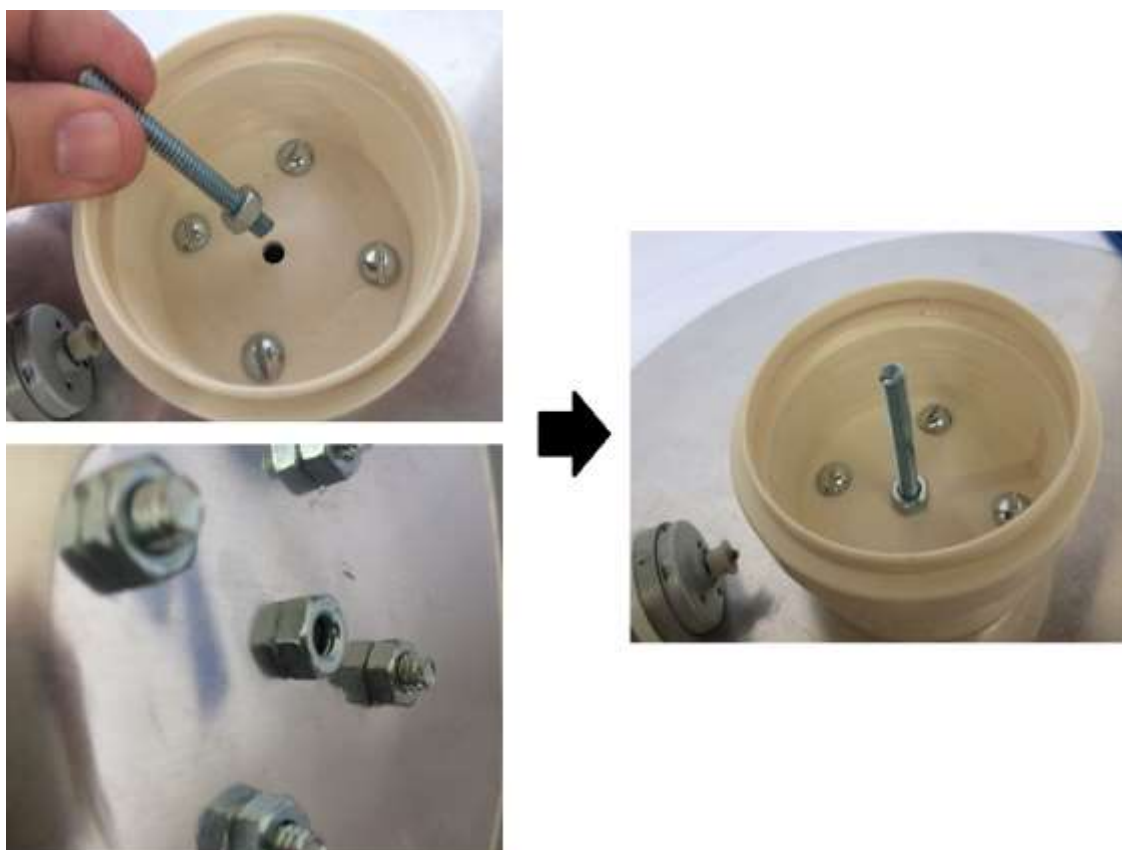
Para terminar essa etapa, falta apenas colocar o pino coletor de cargas inferior na base do GVG. Este ficará na vertical, no meio do cap fixo à forma de pizza.

Corte um pedaço de 5,5 cm da barra rosqueada de 1/4, faça uma ponta numa das extremidades e na outra coloque uma porca (ver figura 3.80).



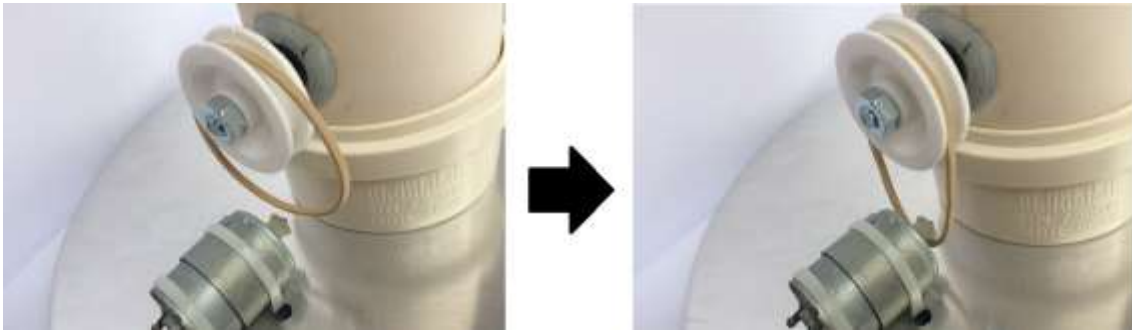
**Figura 3.80** – Confecção do pino coletor inferior do nosso modelo de GVG. **Fonte:** O Autor.

Faça um furo com a broca de 1/4 no centro do cap, encaixe a peça ilustrada pela figura 3.80 e a prenda com outra porca, que será rosqueada ao pino coletor pelo lado de baixo da forma de pizza (ver figura 3.81).



**Figura 3.81** – Fixando o pino coletor inferior no centro do cap. **Fonte:** O Autor.

Finalmente estamos finalizando a etapa 3 e também o nosso GVG; restando apenas os encaixes das peças feitas nas etapas 1, 2 e 3. Uma sugestão é começar encaixando a coluna do gerador à base e em seguida unir, pelo elástico, a roldana plástica do rolete inferior com a roldana do motor (ver figura 3.82).



**Figura 3.82** – Acoplando a roldana do motor à roldana do rolete inferior do GVG. **Fonte:** O Autor.

Agora é só encaixar a esfera na parte superior da coluna e pôr o GVG para funcionar, com a fonte 12 V - 1 A ou com uma bateria 9 V.

Se acontecer do GVG não gerar cargas elétricas na esfera, uma sugestão é utilizar um secador de cabelo para retirar umidade de toda a estrutura do GVG, principalmente da correia; lembre-se: em dias úmidos, a eficiência do GVG cai bastante, o ideal é utilizá-lo em ambientes secos, como uma sala com ar condicionado.

Bom uso!



### **Algumas propostas simples de aplicação do GVG em sala de aula**

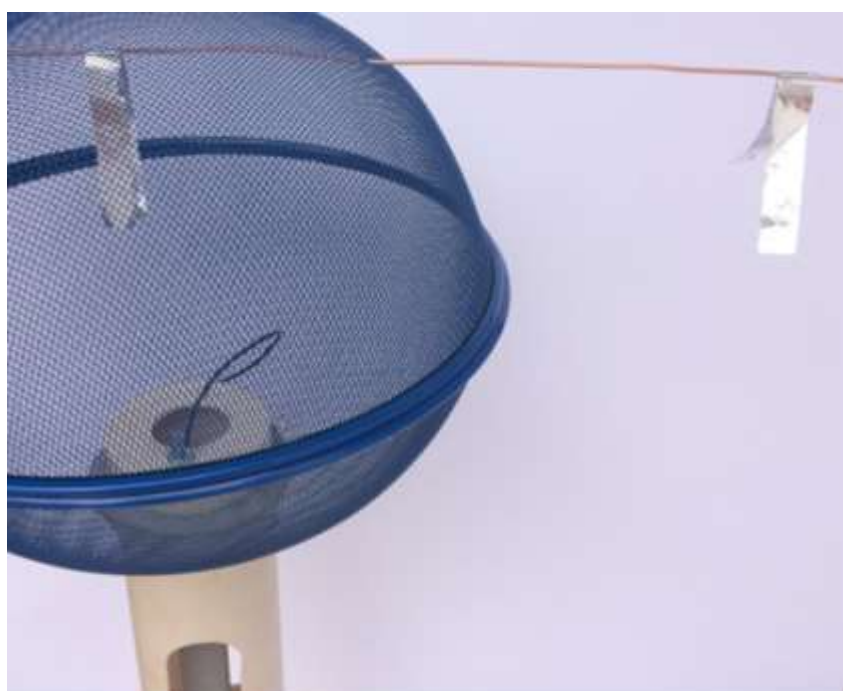
Nesta seção iremos apresentar algumas sugestões simples de aplicação do GVG para que o professor use como referência durante as aulas de eletrostática.

#### ➤ **Blindagem eletrostática**

Nesta proposta podemos desenvolver uma atividade, aproveitando a transparência da esfera do gerador, afim que o aluno note que o campo elétrico no interior de um condutor fechado é nulo. Para esse experimento vamos precisar:

- 40 cm de fio rígido (bitola 2,5 mm)
- Duas folhas de papel alumínio dobrada (sem dobrar, a dimensão da folha é 1,5 cm x 10 cm)
- Nosso GVG

**Procedimento:** Com o fio rígido descascado, perfuraremos a esfera do GVG um pouco abaixo do seu topo através dos orifícios da tela; logo depois, penduraremos as duas folhas de papel alumínio; uma dentro e outra fora da esfera metálica (ver figura A).



**Figura A** – Blindagem eletrostática utilizando o GVG. **Fonte:** O Autor.

Pela figura A, podemos notar que, ao ligar o gerador, a folha de fora se abre enquanto a de dentro fica inerte indicando que não está carregada eletricamente.

➤ **Linhas do campo elétrico, diferença de potencial e superfícies equipotenciais**

Nesta proposta, podemos desenvolver uma atividade no qual o aluno observe a formação das linhas do campo elétrico ao redor de uma carga pontual, junto com a diferença de potencial e esclarecer o que seja uma superfície equipotencial.

Uma sugestão, que poderia ser uma problematização, é mostrar para os alunos um vídeo da internet cujo endereço eletrônico é:

<https://www.youtube.com/watch?v=5r1BTKPAm0>.

O vídeo ilustra como um motorista de um carro deve reagir se houver um fio de alta tensão sobre a lataria do veículo.

Após assistirem o vídeo, os alunos notarão que para se salvar, o motorista sai do carro e caminha em passos bem curtos. Diante desse fato, podemos discutir com eles a seguinte questão:

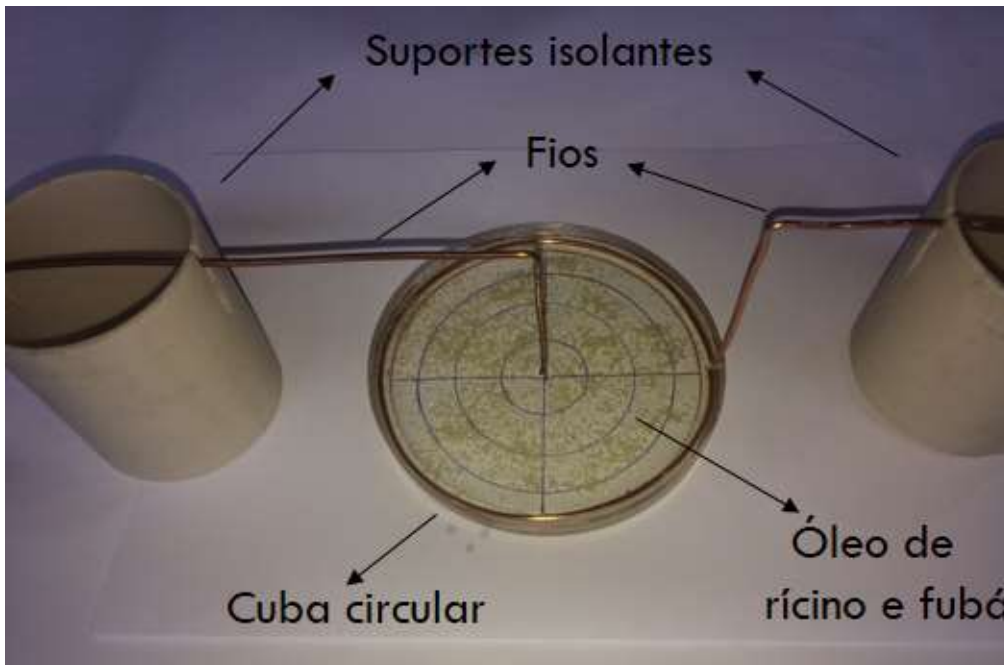
**Qual é a razão de andar com os pés juntos?**

Posteriormente, com o auxílio do nosso GVG, desenvolvemos a seguinte experimentação, utilizando:

- óleo de rícino
- fubá
- cuba redonda
- fios
- multímetro

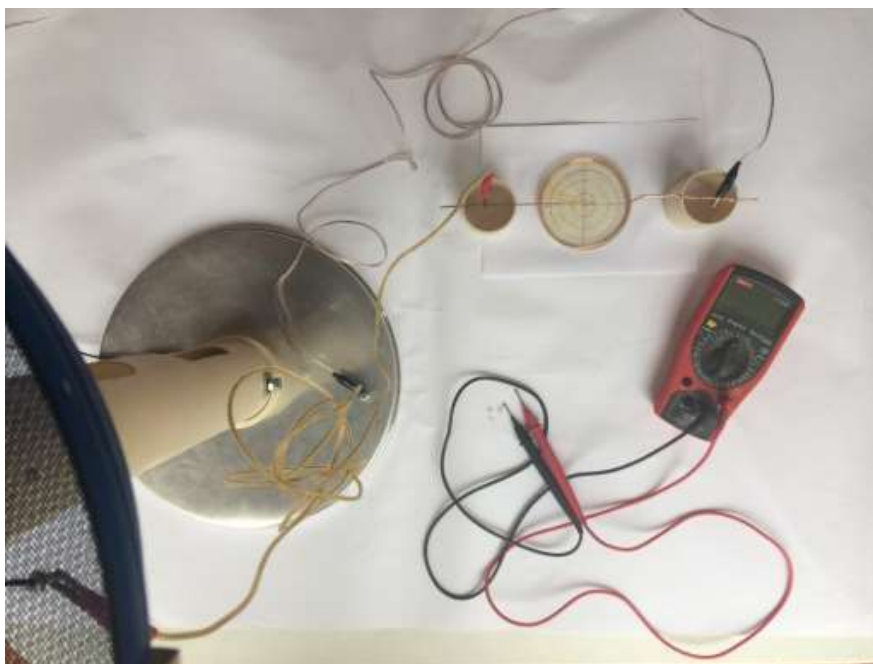
### Procedimentos:

- 1) Com a montagem ilustrada pela figura B, derrame o óleo de rícino na cuba circular e depois polvilhe o fubá sobre o óleo. Desenhe círculos concêntricos em baixo da cuba.



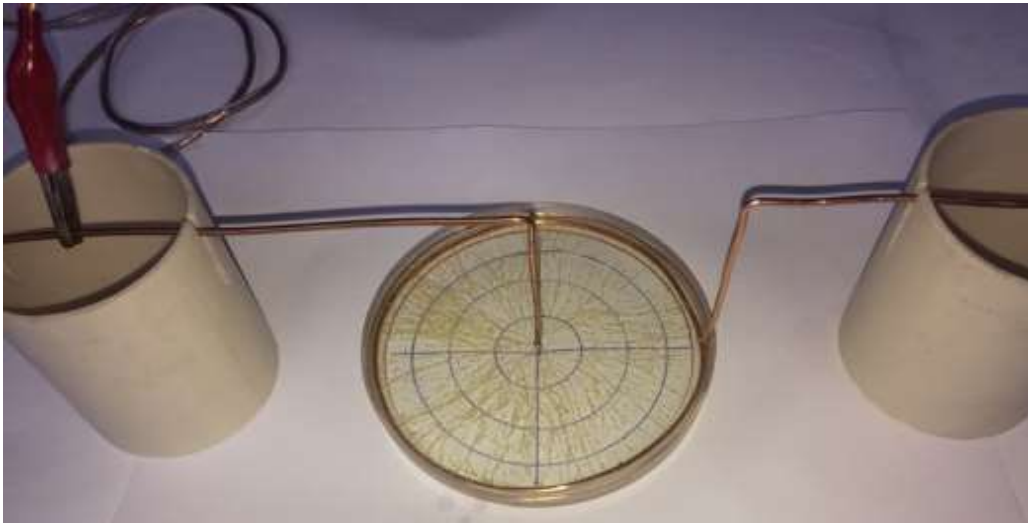
**Figura B** – Montagem inicial dos componentes. **Fonte:** O Autor.

- 2) Conecte o fio que está no centro da cuba à esfera do gerador e o outro na base (ver figura C).



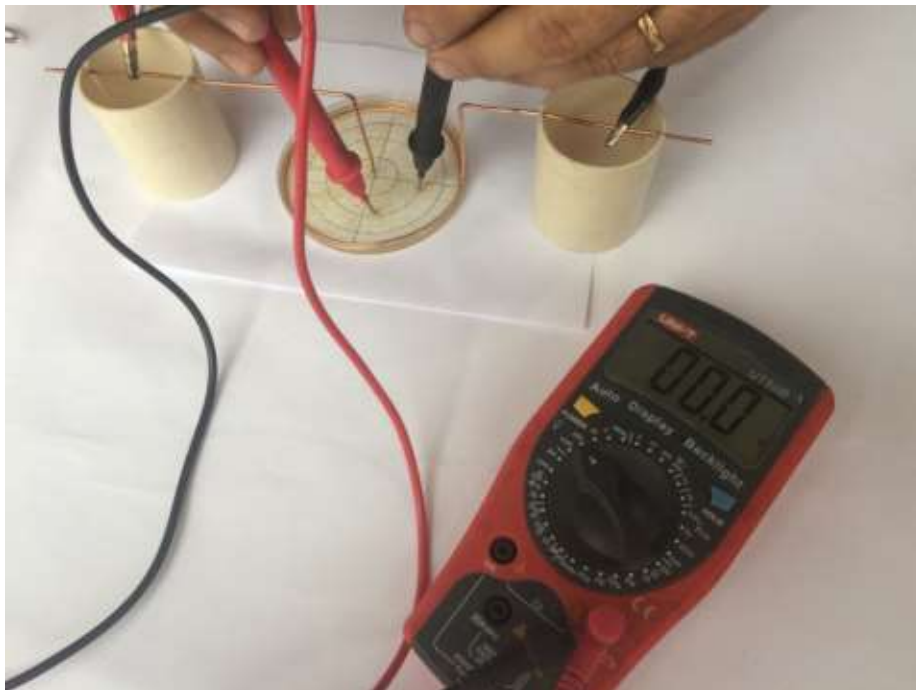
**Figura C** – Conexão entre a montagem inicial e o GVG. **Fonte:** O Autor.

- 3) Ligando o gerador, observa-se as linhas do campo elétrico desenhado pelo fubá sobre o óleo (ver figura D).



**Figura D** – Observação das linhas do campo elétrico. **Fonte:** O Autor.

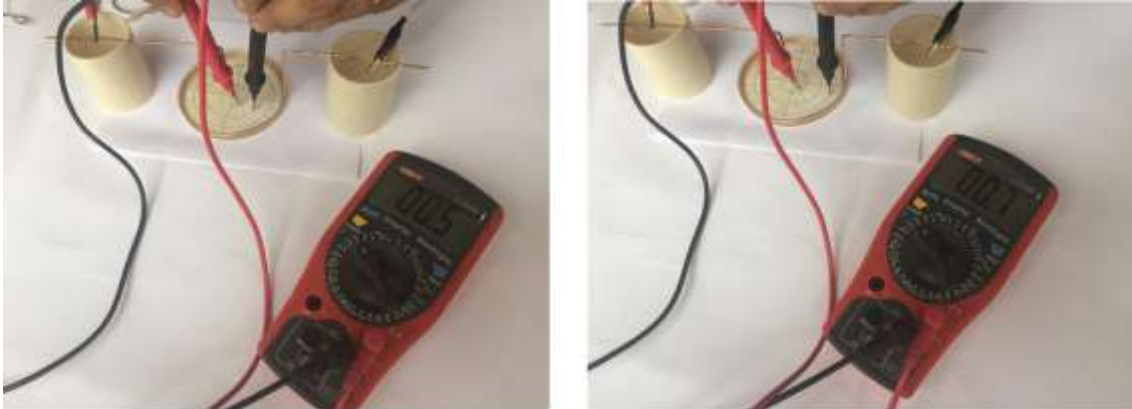
- 4) Agora, vamos introduzir os assuntos sobre DDP e superfícies equipotenciais; para isso, colocamos as ponteiros do multímetro (que deverá estar na opção voltímetro) sobre um mesmo arco de circunferência (ver figura E).



**Figura E** – DDP entre uma superfície equipotencial. **Fonte:** O Autor.

É observável, pela figura E, que a diferença de potencial é nula, pois as ponteiros estão sobre o mesmo arco.

- 5) Colocando as ponteiros do multímetro em arcos diferentes, observa-se, pela figura F, que há uma leitura e que essa leitura é maior quanto maior for a distância entre esses arcos.



**Figura F** – DDP entre duas superfícies equipotenciais. **Fonte:** O Autor.

Voltando à pergunta inicial, podemos relacionar, junto aos alunos, o que foi visto pelo vídeo e experimentalmente; e concluir que caminhar com os pés juntos é recomendável, pois haverá a menor diferença de potencial possível e, conseqüentemente, uma menor corrente elétrica fluindo pelo corpo da pessoa.