



Ministério da Educação  
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins  
Reitoria  
*Campus* Palmas  
Gabinete Direção-Geral

**EDITAL Nº 11/2024/PAL/REI/IFTO, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2024**

SELEÇÃO DE PROJETOS PARA VII MOSTRA CIENTÍFICA DO CAMPUS PALMAS DO IFTO

**ANEXO VI**

**RELATÓRIO FINAL**

**RELATÓRIO FINAL**

**TÍTULO DO PROJETO:**

ACELERADOR DE  
PARTÍCULAS

**CATEGORIA:**

MAQUETE

**ORIENTADOR:**

MATEUS LIMA  
PEDUZZI

**COORIENTADOR:**

**ESTUDANTE:**

BRUNNA RAPHAELA TEIXEIRA BRITO  
GABRIEL OLIVEIRA MEDEIROS

## 1. RESUMO

Este relatório apresenta como objetivo central o processo de elaboração da maquete funcional referente ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron popularmente conhecido como Sirius, com alguns componentes recicláveis, fazendo uma relação entre o funcionamento do acelerador de partículas real com um circuito simples, magnético e utilizável na prática, além de mostrar, a partir da parte arquitetônica da maquete como é a estrutura do maior laboratório em solo brasileiro, por meio da visualização e explicação qualitativa de seus componentes, a fim de auxiliar no ensino, entendimento e divulgação da física. Primeiramente, será elaborado uma pesquisa sobre o funcionamento de um Acelerador de Partículas real, por meio de um breve resumo de seus efeitos e fenômenos. Na segunda parte, será descrita a fabricação da parte arquitetônica, junto ao modelo de desenho utilizado como base e, na terceira, será então explicado a física por trás e o circuito a ser utilizado para a devida resolução e funcionamento. Para tal, diversas pesquisas sobre estrutura e desempenho do Laboratório, tais como desenhos técnicos promovidos pelos arquitetos responsáveis, Paulo Bruna e Pedro Bruna (CABALLERO, 2020), foram utilizados, assim como a pesquisa do circuito funcional que simule sua aplicabilidade, e os materiais de origem reciclável que poderiam fazer parte da composição.

## 2. METODOLOGIA

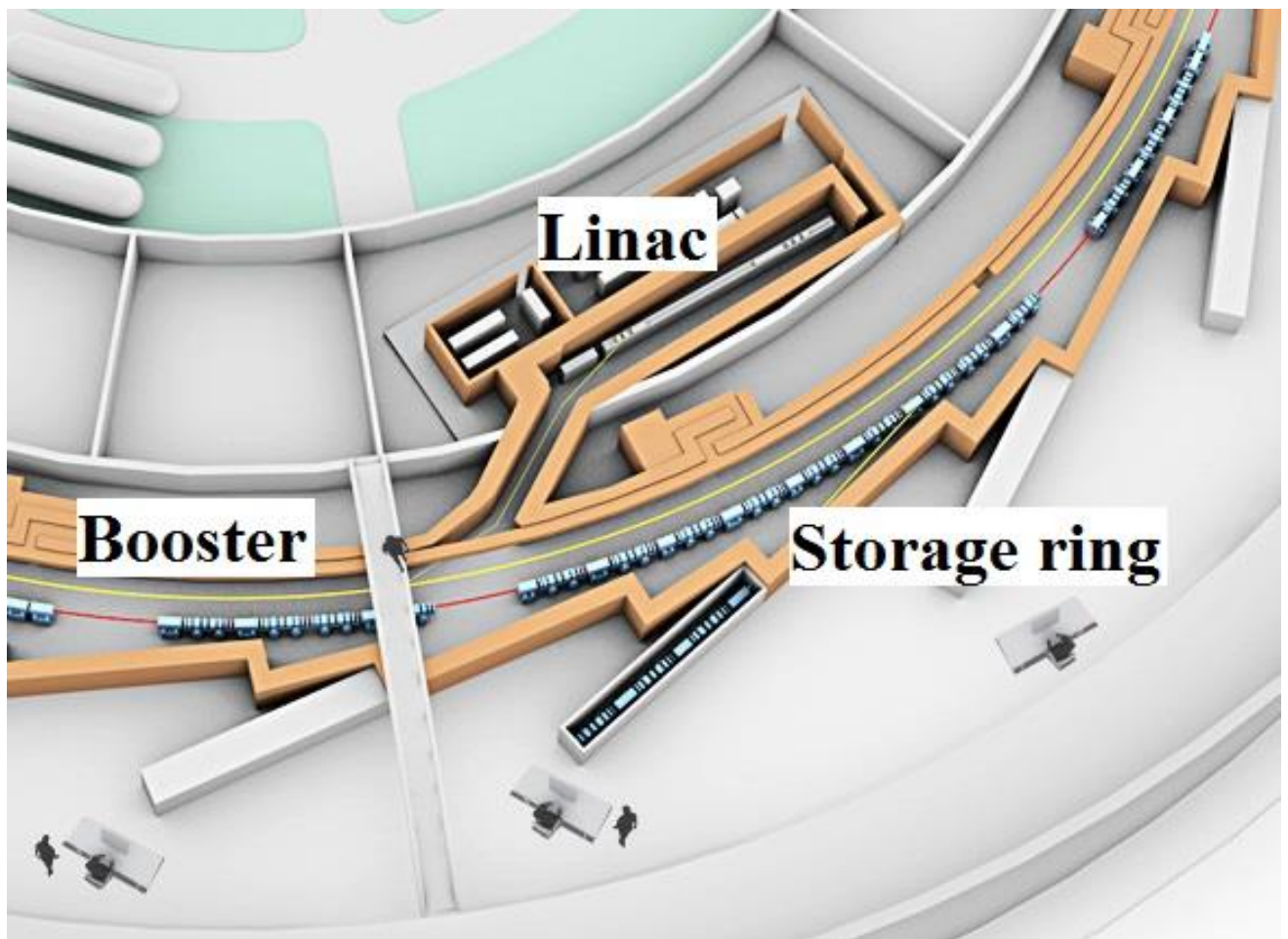
### 2.1. Acelerador e funcionamento

Existem inúmeros aceleradores de partículas, dentre eles o acelerador do tipo síncrotron. Essa categoria de acelerador, como o localizado no LNLS, ou Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, no município de Campinas, Brasil, basicamente é projetado para transmitir feixes de luz síncrotron. No caso do Sirius, a fonte de luz consegue atingir uma baixa emitância de 0,28 nm rad para um feixe de 3 GeV.

As fontes de luz síncrotron possuem três estruturas: um acelerador linear, ou Linac, no caso do Sirius, um acelerador Injetor, ou Booster, e um anel de armazenamento. Na Figura 1 tem-se uma representação mais nítida desse processo, que permite visualizar melhor as estruturas citadas.

Na realidade, a fonte de luz Síncrotron, para a transmissão desses feixes de luz, utilizam-se de partículas carregadas, a exemplo dos elétrons, carregados negativamente. Essas partículas são criadas por uma espécie de canhão de elétrons, que são acelerados pelos componentes e estruturas do Linac. Ao final da estrutura linear, os elétrons conseguem possuir velocidades perto da velocidade da luz e são redirecionados ao Booster, através de uma linha de eletroímãs.

Esse feixe de partículas é orientado por um percurso circular através do acelerador injetor, com fornecimento de energia no intuito de aumentar sua energia cinética, desde os níveis do Linac até os níveis de operação do anel de armazenamento. Ao se infiltrarem no Booster, as partículas são aceleradas pelas cavidades de radiofrequência que repõe sua energia e, ao atingirem o nível esperado, são redirecionados ao anel de armazenamento. Nesse momento, os elétrons são mantidos em órbitas estáveis por meio da rede magnética: vários ímãs que, mediante seu campo magnético, focalizam e defletem, formando o caminho a ser percorrido de forma a continuar sua estabilidade, caminhos estes que se assemelham a um círculo, mas que possuem trajetórias lineares em alguns fragmentos. O campo magnético guia delinea uma órbita fechada, idealizada, de tempo indefinido de movimentação. Ao alterar sua trajetória por causa dos campos, elétrons de alta energia e velocidade emitem radiação com um grande espectro magnético e muito brilhantes: a luz síncrotron.



**Figura 1:** Renderização do Acelerador Sirius. Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Rendering-of-Sirius-accelerators-Linac-Booster-and-Storage-Ring-forming-the-electrons\\_fig2\\_318471930](https://www.researchgate.net/figure/Rendering-of-Sirius-accelerators-Linac-Booster-and-Storage-Ring-forming-the-electrons_fig2_318471930). Acesso em: 12 de out. De 2024.

Estruturalmente, o Sirius possui diversas estações experimentais, visitadas por cientistas do mundo inteiro. É nelas aonde a luz síncroton é direcionada até as amostras, com a finalidade de mostrar informações do material ou estrutura a ser pesquisada. Os materiais podem ser analisados de diversas formas e com diversas técnicas diferentes, a condições específicas e monitoramento específicos, o que permite uma ampla gama de experimentos como espectroscopia do infravermelho ao raio X, tomografia, entre outros(SILVA; FERREIRA; LIMA, 2024).

O processo desses experimentos envolve o estudo de moléculas, materiais e até partículas elementares, além da aplicabilidade da teoria Moderna da Física, que possui conhecimentos advindos da Relatividade Geral, Eletromagnetismo e Física Quântica, normalmente ensinados aos alunos do Ensino Médio no final de seus terceiros anos. Esses estudos podem se introduzidos, ainda que de forma qualitativa, por meio do projeto, o que aproxima melhor o entendimento sobre os fenômenos para os alunos em geral.

A configuração principal a ser retratada pelo projeto é o Anel de Armazenamento do Sirius, no qual possui aproximadamente 518 metros de circunferência(LIU et al., 2014). Para isso, foi inserida uma pista circular que simule sua trajetória. Já em relação a movimentação “partículas” no anel, foi utilizada tanto uma esfera ferromagnética comum e pequena quanto bobinas magnéticas, controladas com o objetivo de possuir uma alteração de corrente por meio da construção de um circuito eletrônico simples, porém com um sensor que determine quando possuir ou não esse controle.

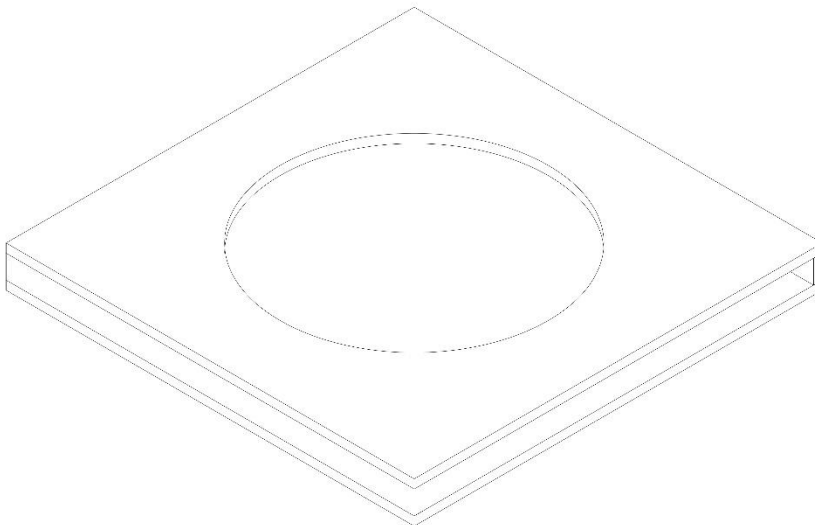
## 2.2. Metodologia da pesquisa

A pesquisa do funcionamento e utilidade teve cunho qualitativo e explicativo, com o

objetivo de produzir uma maquete que tornasse mais fácil e didático tanto o funcionamento do Sirius e a física aplicada quanto o conhecimento sobre o Laboratório Nacional de Luz Síncroton.

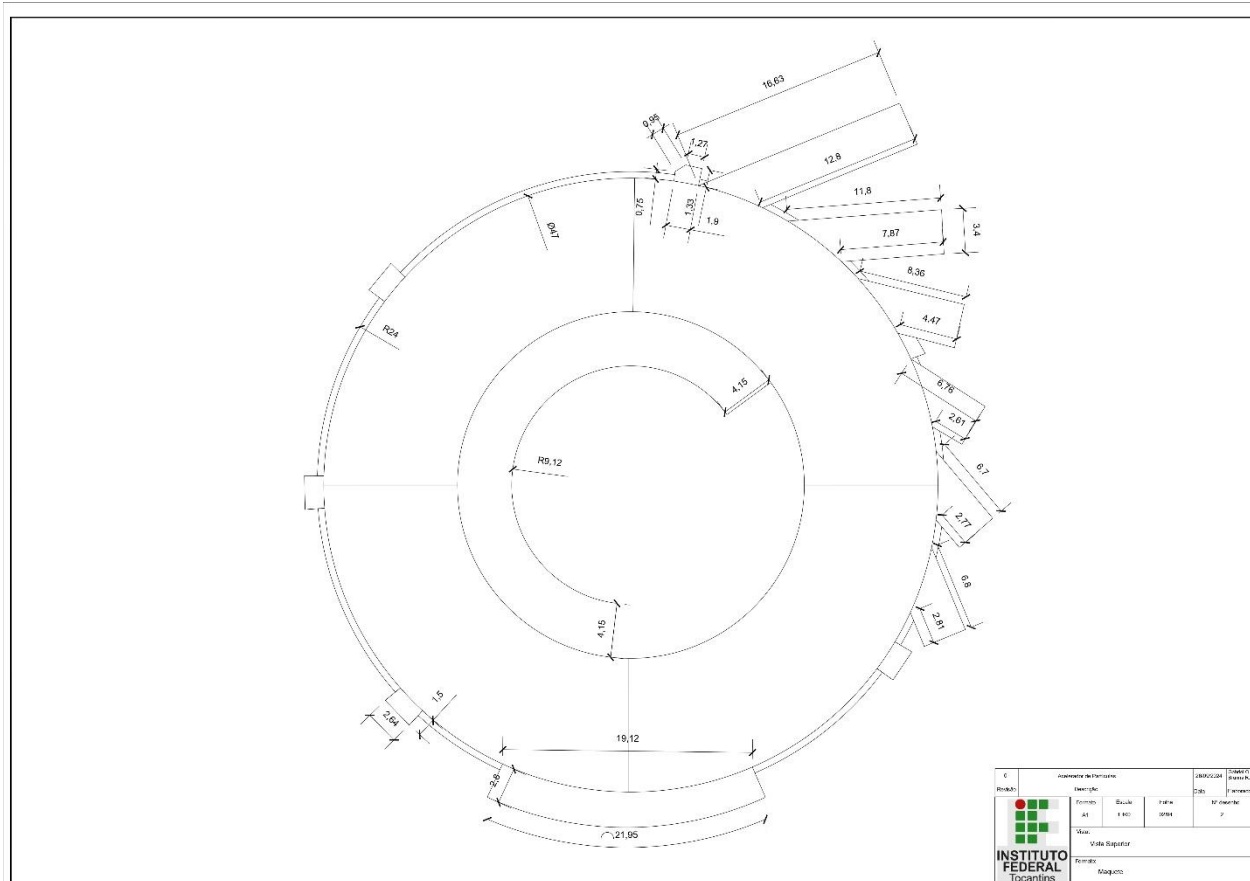
### 2.3. Construção da arquitetura da maquete

A arquitetura da maquete foi construída com base nos desenhos técnicos dos arquitetos responsáveis pelo projeto Sirius. Entretanto, antes de formar o edifício, foi necessário a geração de uma base, feita de madeira MDF, por ter menor peso e maior força. Essa base foi pensada tanto para suportar a estrutura do edifício quanto para, internamente, esconder o circuito e pista utilizados, promovendo um efeito de “elemento surpresa” na demonstração do funcionamento da miniatura. Para isso, foi construído um paralelepípedo de base quadrada, com largura e comprimento de 70x70 cm e altura de 7 cm. No centro de uma das bases, foi cortado um círculo suficientemente pequeno para que seja apoiada uma tampa de ventilador(recicláda) em cima, porém que o circuito e a pista coubessem no interior desse pedaço cortado, assim como a figura 2 retrata, de acordo com o desenho técnico isométrico da base, feito pelo aplicativo AUTOCAD, normalmente utilizado por arquitetos no planejamento de um projeto. Para além disso, subiu-se mais 2 centímetros, com círculo de para que houvesse certo encaixe com o edifício e que a altura da tampa sincronizasse com a altura proporcional da miniatura.

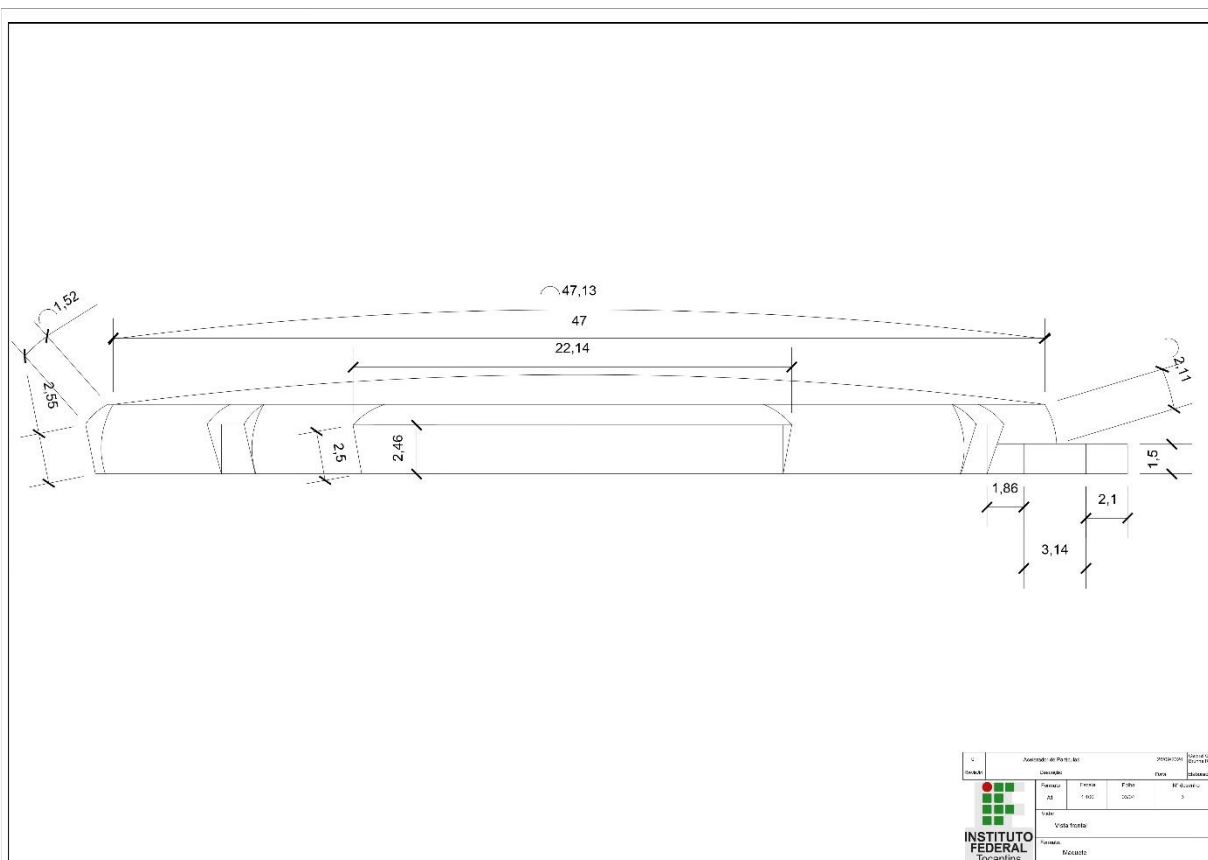


**Figura 2:** Base de MDF. Fonte: Os autores(2024).

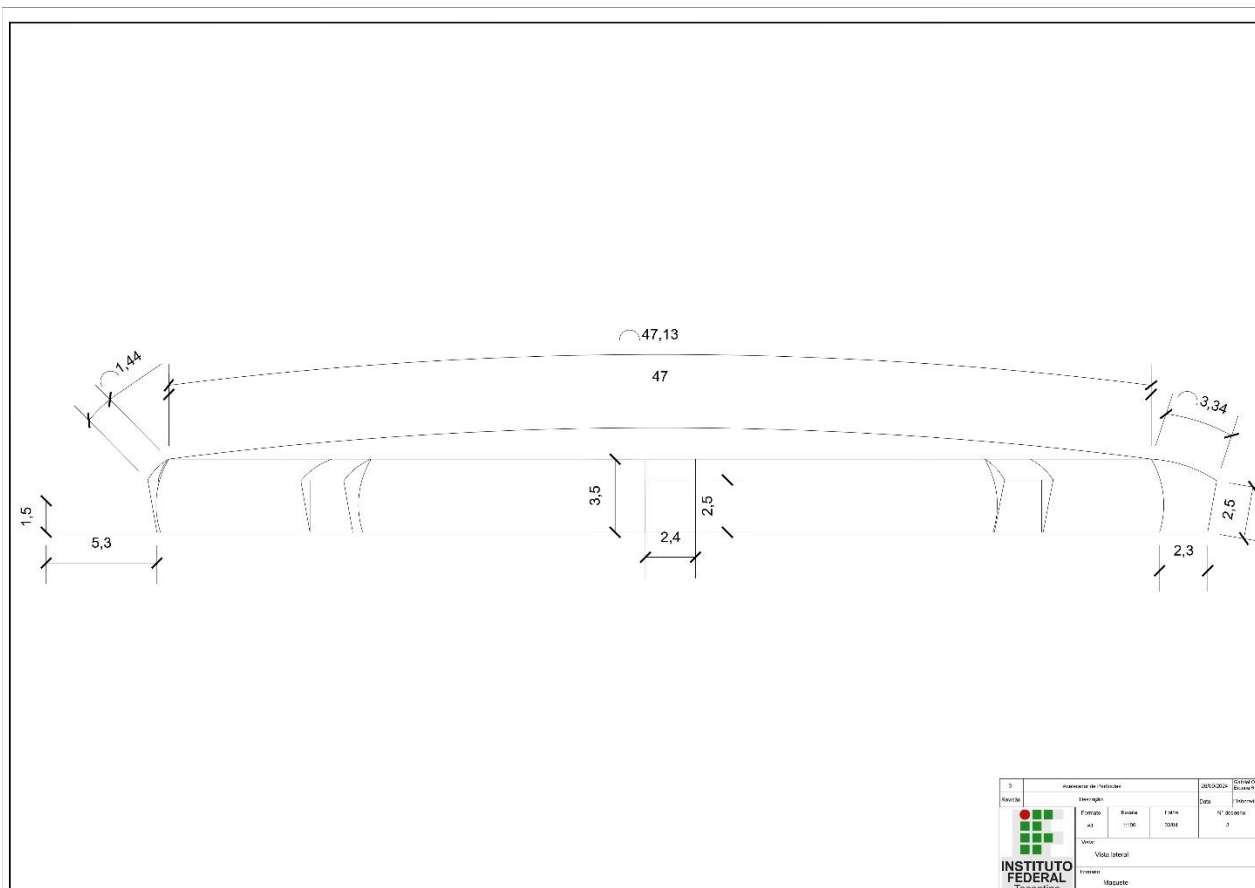
Posteriormente, desenhos técnicos com base no projeto dos arquitetos mencionados foram desenvolvidos no software AUTOCAD, utilizando-se das vistas necessárias com cotas para a melhor visualização e planejamento das medidas a serem seguidas.



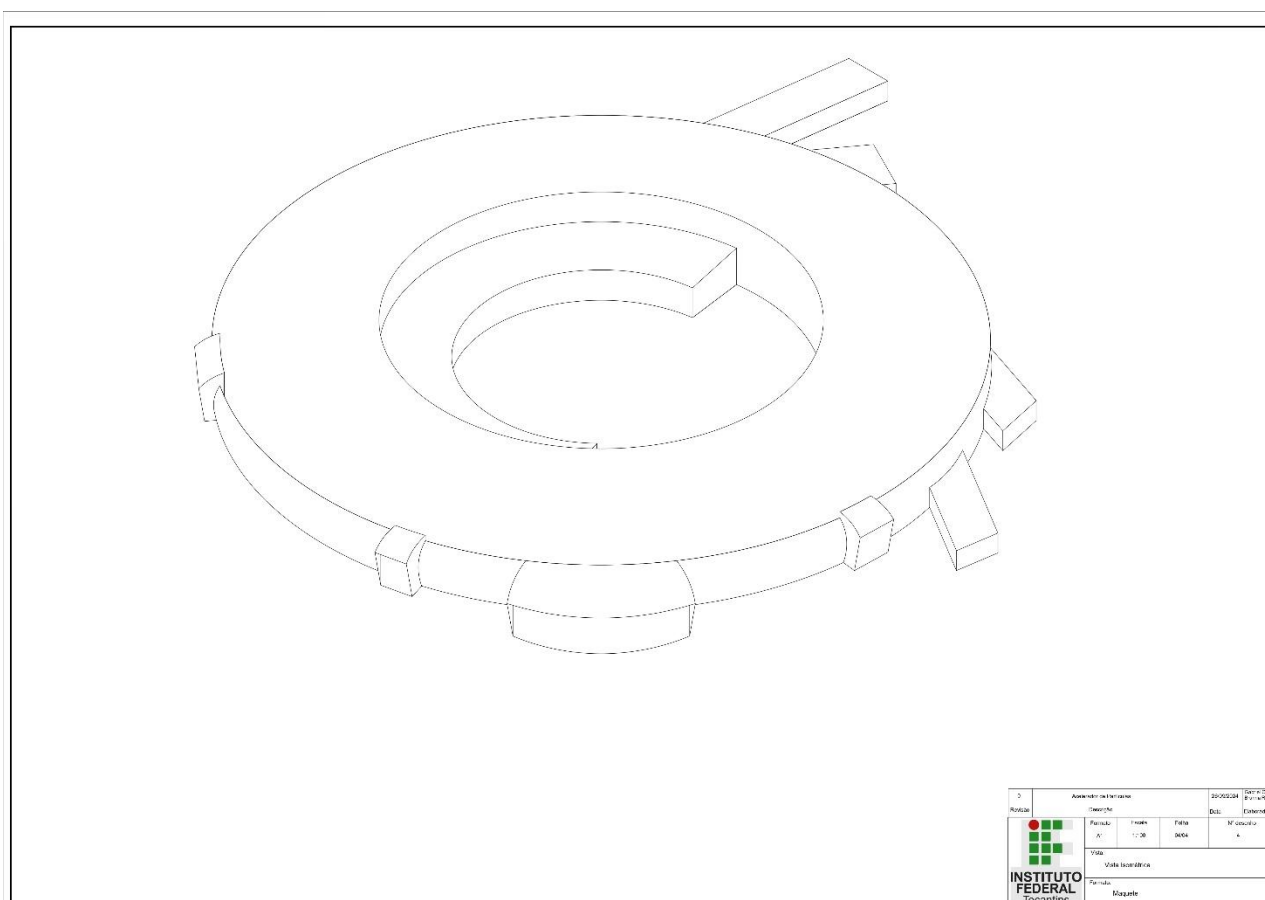
**Figura 3:** Vista superior. Fonte: Os autores(2024).



**Figura 4:** Vista frontal. Fonte: Autores(2024).



**Figura 5:** Vista lateral. Fonte: Autores(2024).



**Figura 6:** Vista isométrica. Fonte: Autores(2024).

Na criação do mini edifício, foi utilizado como armação uma tampa de ventilador de plástico reciclada e cortada, para que, além o aspecto visual por dentro, houvesse maior estabilidade e menor risco de desmantelamento da miniatura em sua retirada. A utilização de técnicas e

materiais recicláveis junto às técnicas tradicionais da fabricação de maquetes arquitetônicas são de extrema importância, pois, além de viabilizar um menor custo de produção na formação da miniatura, é pensado também no impacto negativo do lixo no meio ambiente. A opção para essa escolha, para mais de fomentar o desenvolvimento sustentável, alia-se também a uma maior facilitação do processo.

A partir disso, foi coberto uma parte estrutural na parcela de fora da grade do ventilador, com enfoque em dois materiais: papel paraná e papelão comum, colados com cola quente, encontrada facilmente em papelarias. As demais seções, como os laboratórios de pesquisa, também foram produzidas de acordo com essa mesma estratégia, todas no intuito de promover a base arquitetônica do modelo, delineando forma e volume.

É importante ressaltar que a seção principal do centro, ou seja, o círculo principal, não foi colado na base de MDF, pois sua ideia é de encaixe, como uma peça móvel.



**Figura 7:** Início da construção da miniatura. Fonte: Os autores(2024).

Ademais, para que ficasse similar ao Laboratório Nacional de Luz Síncroton(LNLS), foi necessário a escolha de um revestimento que possibilitasse esse objetivo. O EVA, facilmente encontrado e manipulado, foi feito perfeitamente para esse uso, escondendo eventuais modificações de relevo que atrapalhassem. Para além, a utilização de sprays e pasta no intuito de simular o vidro da fachada, auxiliaram para que a semelhança ao edifício de Campinas se mantivesse o mais próxima possível.

A fabricação de gramas manuais feitas com esponjas reutilizadas e tintas também corroborou para o efeito visual do prédio do Sirius, unindo sustentabilidade à arte arquitetônica, demonstrado na figura 4 abaixo:





**Figura 8:** Final da construção da parte arquitetônica do Sirius. Fonte: Os autores(2024).

Dessa forma, o elemento arquitetônico da maquete auxilia na visualização e compreensão da estrutura do prédio Sirius, o que encaminha para a construção do elemento principal: a parte funcional do acelerador.

## **2.4. Conceitos físicos necessários**

Em relação ao acelerador, torna-se necessário explicar alguns conceitos fundamentais advindos do Eletromagnetismo, Teoria da Relatividade Especial e Física Quântica, de maneira mais didática no que tange ao entendimento do tema. Estes Conceitos levam a entender o porquê, atualmente, diversos aceleradores de alta energia conseguem fazer com que as partículas atinjam velocidades próximas a da luz.

### **2.4.1. Aceleração por eletromagnetismo**

Primeiramente, uma fonte de partículas precisa ser criada, comumente elétrons, que, ao serem emitidos, são direcionados a um local que possui grande diferença de potencial elétrico( $\Delta V$ ), por meio de uma fonte de voltagem na ordem de  $10^3$  volts. Assim, um campo elétrico é formado no caminho entre duas placas paralelas, configuradas a certa distância uma da outra para esse propósito. Dessa forma, o elétron tem seu movimento acelerado devido à força elétrica formada pelo  $\Delta V$ . Esse tipo de sistema é copiado e colado diversas vezes ao longo do trajeto do acelerador, condicionando a partícula a aumentos significativos de sua velocidade, calculados por meio de sua energia cinética adquirida. Essa energia cinética é calculada através da seguinte equação:  $E = e \cdot \Delta V$  (Joules), onde  $e$  é a carga elétrica elemental de um elétron, que é igual a  $1,062 \times 10^{-19}$  Coulomb.

Em relação ao campo magnético aplicado, seu propósito no acelerador é de desvio da partícula para o seguimento de uma trajetória circular. Sabe-se que a aplicação de um campo magnético constante( $B$ ), em uma partícula carregada resulta no desvio de sua trajetória, gerando um movimento espiralado. Esse comportamento é causado pela força magnética que atua perpendicularmente ao movimento da partícula e às linhas do campo magnético.

### **2.4.2. Relatividade Especial**

A Teoria da Relatividade Especial de Einstein tem aplicação direta no funcionamento dos aceleradores de partículas, onde partículas carregadas são aceleradas a velocidades próximas à da luz. Nessas condições, o comportamento relativístico das partículas torna-se crucial.

Nos aceleradores, à medida que a velocidade das partículas aumenta, sua massa relativística



também cresce, seguindo a equação:  $E_t = m \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2) / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , onde  $m_0$  é a massa de repouso da partícula,  $v$  é a sua velocidade, e  $c$  é a velocidade da luz. Essa equação mostra que a massa relativística  $m$  da partícula depende de sua velocidade e é dada por:  $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ .

Em velocidades muito menores que a velocidade da luz, como as dos objetos macroscópicos, o efeito relativístico é desprezível, e podemos utilizar a fórmula clássica para a energia cinética para obter resultados precisos. No entanto, em altas velocidades, maiores do que  $0,5 \cdot c$ , os efeitos relativísticos tornam-se significativos e a energia cinética relativística é expressa por:  $E_c = mc^2 - m_0c^2$ . Essa expressão representa a diferença entre a energia total  $E_t$  e a energia de repouso  $m_0 \cdot c^2$ , sendo mais relevante em velocidades próximas à da luz, trabalhadas pelo acelerador de partículas.

### **2.4.3. Efeito no aumento da velocidade das partículas**

As observações experimentais indicam que apenas partículas elementares, como elétrons e prótons, podem atingir velocidades extremamente elevadas. À medida que a velocidade dessas partículas aumenta, sua energia cinética também cresce. Contudo, a velocidade não pode exceder o limite estabelecido pela velocidade da luz. O efeito físico desse fenômeno é o aumento da massa relativística da partícula, o que resulta em um incremento correspondente em sua energia total.

Nos aceleradores de partículas, esse princípio é fundamental para a produção de Luz Síncrotron. Ao serem aceleradas, as partículas emitem radiação eletromagnética devido à perda de energia, conforme previsto pelos efeitos quânticos (SOLANO REYNOSO; PINTO CARNEIRO JUNIOR, 2023).

## **2.5. Construção do acelerador magnético**

Na construção do acelerador magnético, dois fatores principais tiveram que ser decididos: a fabricação da pista, elemento essencial que serve de caminho aonde a “partícula” é direcionada; e a construção do circuito, com o objetivo de movimentar a esfera ferromagnética através de uma força.

### **2.5.1. Pista**

A primeira versão da pista foi pensada para ser um caminho quase totalmente transparente, deixando visível toda a passagem da esfera ao redor do círculo. Como escolha inicial, foi escolhido uma mangueira de PVC transparente de 1,5 cm de diâmetro.

Apesar de interessante, o cano PVC, para a bola de mesmo diâmetro, muitas vezes ficava engatada, havendo expressiva diminuição de velocidade nos testes que tentavam passar de um lado a outro do cano. Nesse sentido, a ideia do cano foi desclassificada e outro tipo de pista foi pensada para ter menos atrito e resistência na passagem.

A segunda versão foi pensada a partir de uma tampa reutilizada de um cesto de roupa suja. Por possuir as bordas circulares, a tampa de plástico foi cortada e colada com cola Super Bonder a fim de se parecer com um trilho circular, com suporte feito de arame, como ilustra a figura 9. Entretanto, por ser de um plástico fino e facilmente quebrável, e também pelo efeito visual nada prático, a ideia foi descartada.



**Figura 9:** Versão 2 da pista. Fonte: Autoral (2024).

Como terceira tentativa, foi ponderado a produção de um trilho de cano PVC branco de diâmetro pouco menor do que 2 cm, com um pedaço cortado referente a  $1/6$  do comprimento de sua base circular. O cano foi dividido em duas seções, com fechamento de uns 5 cm na intersecção dessas seções, e sua curvatura em formato circular foi definida a partir do aquecimento e modelagem manual. Então, uma ligação de PVC foi utilizada para fechar o trilho. Após a montagem, spray branco comum foi utilizado para cobrir o exterior da peça, finalizando a produção.



**Figura 10:** Última versão da pista antes de passar o spray. Fonte: Autoral (2024).

### 2.5.2. Circuito

Como especificado anteriormente, ao serem colocadas com diferenças de potencial elétrico  $\Delta V$ , nas quais criam campos elétricos estáticos de determinada energia, partículas elementares carregadas adquirem aceleração. Adicionalmente, o campo magnético desvia a direção da partícula. Nessa perspectiva, pode-se determinar uma lógica parecida para a ideia base do circuito, porém de forma mais simples utilizando-se apenas de um campo magnético pulsante

e um sensor que determine o momento a ser pulsado.

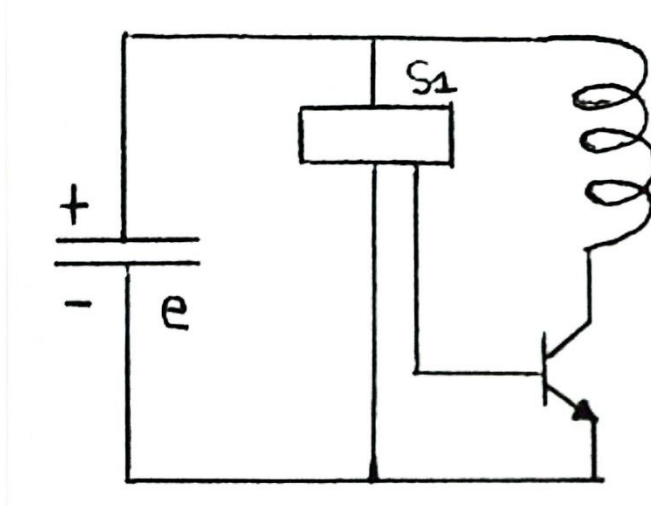
### 2.5.3. Bobinas

As bobinas de um acelerador magnético possuem importância notória, então, antes de quaisquer componentes, é indispensável que se obtenha ou fabrique essa peça. Nela, são gerados campos magnéticos que pulsam com alta densidade em virtude dos pulsos de corrente de alta amplitude e grande amperagem, em um curto intervalo de tempo. Como é de extrema dificuldade encontrar uma bobina igual a desejada em algum componente eletrônico, foi inevitável produzi-la.

Para isso, cortou-se 3 canos PVC de 2 cm de diâmetro por aproximadamente 2 cm de altura utilizando-se de uma serra circular comum. Após, dois pedaços de plástico de polietileno de alta densidade (PEAD), encontrados em potes descartáveis comuns reciclados, foram separados em formato quadrangular com arestas circulares, colados mediante cola epóxi nas extremidades de cada PVC, com a intenção de formar a sustentação da bobina. Por fim, foi enrolado manualmente, um a um, fios esmaltados 28 AWG, de 500 a 600 espiras, para que houvesse maior campo magnético aliado a uma menor resistência possível dos fios, seguindo a equação:  $B = (\mu \cdot N \cdot i) / l$ , em que B é o campo magnético e  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio - nesse caso, o ar.

### 2.5.4. Versão 1

A primeira versão do circuito foi baseado no trabalho do técnico em eletrônica Cláudio Regazolli Testi. Para tal, comprou-se uma fonte de alimentação chaveada, com entrada de 220 volts AC e saída de corrente contínua de 36 volts e 10 ampères. Foi utilizado também sensor de indução PNP, junto a um transistor chaveador de solenóide, de modelo 2N3055. A figura 11 representa graficamente como foi construído as ligações desse pequeno sistema elétrico.



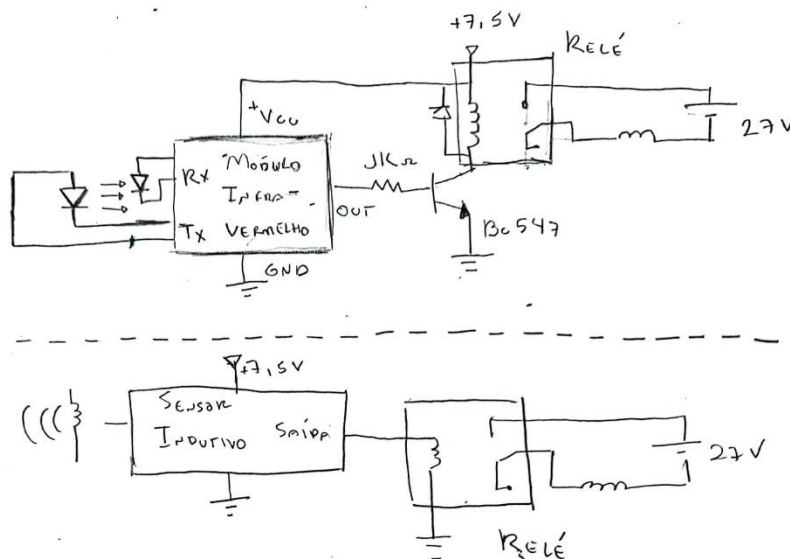
**Figura 11:** Primeira versão do circuito. Fonte: Autoral (2024).

Nesse caso, ao identificar a esfera ferromagnética, o sensor indutivo mandaria um pulso de onda quadrada, da escala de dois ampères (CRTESTI, [s.d]), suficientemente grande para promover a força eletromagnética que aceleraria o objeto. Entretanto, durante os testes, muitos componentes, como o transistor e sensores, queimaram, provavelmente em razão da ausência de um resistor que barrasse um curto circuito, ou não produziram o resultado esperado, necessitando de uma modificação.

### 2.5.5. Versão 2

Uma segunda versão foi proposta com outros circuitos-base. Para estes, uma fonte de alimentação dupla digital 32V 3A, fornecida pelo campus, foi utilizada, junto a resistores,

sensores indutivos reaproveitados da versão anterior, transistores, diodos, sensor de obstáculo reflexivo infravermelho e relés. Por terem 2 tipos de sensores diferentes, e a fim de se fazer duas espécimes de testes para verificar o funcionamento, foram feitos dois circuitos diferentes.



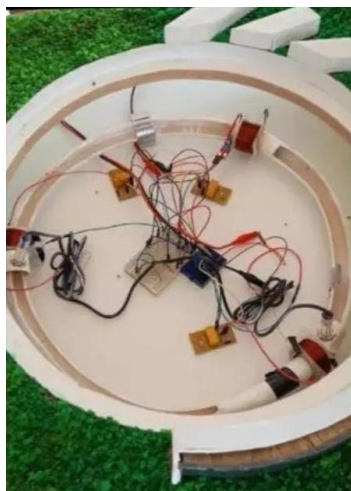
**Figura 12:** Versão final do circuito. Fonte: Autoral (2024).

Em relação ao desenvolvimento, os dois sistemas mantêm o mesmo princípio: recorrer ao sinal do sensor, tanto o sensor indutivo quanto o módulo infravermelho, para a ativação do relé, que, ao fechar, promove um pulso de tensão responsável por alimentar o indutor por um curto período de tempo. Esse pulso seria, desse modo, similar aos 2 volts do circuito anterior.

Após os testes, ambos os sistemas elétricos funcionaram, no entanto com uma força menor que o esperado. Contudo, por ainda estar condizente com a ideia inicial de desenvolvimento do acelerador magnético, foi aproveitado.

## 2.6. Montagem e apresentação

Finalizado a estrutura arquitetônica, eletrônica e a pista, os três sistemas foram conectados. Para a junção do trilho com a sustentação de MDF, foram parafusadas 2 abraçadeiras tipo D. A figura 13 abaixo mostra a junção dessas estruturas, com o mini edifício do LNLS já retirado.



**Figura 13:** Maquete final. Fonte: Autoral (2024).

A apresentação foi feita de maneira demonstrativa e explicativa, por meio de 3 pranchas que possuíam informações acerca do Sirius e da construção do modelo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na parte funcional do projeto, o acelerador magnético construído atingiu quase totalmente as metas pré-estabelecidas para simular o comportamento de um acelerador de partículas real. O protótipo demonstrou uma força de aceleração suficiente para mover a esfera ferromagnética ao longo da pista, validando o princípio básico de funcionamento. No entanto, apesar do sucesso em gerar aceleração, a força resultante ainda se mostrou insuficiente para que a esfera continuasse a girar ininterruptamente, como era o objetivo inicial. Portanto, há a necessidade de ajustes na potência de aceleração e, provavelmente, na inserção de mais bobinas, a fim de garantir uma operação contínua e mais eficiente do mecanismo.

Na parte arquitetônica do projeto, o design foi pensado de forma simplificada para mostrar apenas as estruturas principais do acelerador, como planejado desde o começo, para que fosse mais fácil de ver e entender. O layout também ajudou a estruturar o espaço de acordo com o modelo do LNLS, o que foi importante para o funcionamento do acelerador. Além disso, os materiais usados, incluindo recicláveis, foram satisfatórios, oferecendo um bom resultado. No geral, a parte arquitetônica cumpriu os requisitos, tanto na simplificação quanto na escolha dos materiais, atendendo ao objetivo de ser funcional e fácil de visualizar.

Além disso, o modelo funcional simplificado do acelerador provou ser eficaz ao explicar, de maneira didática, os princípios e conceitos físicos relacionados à aceleração de partículas. Mesmo com os problemas identificados na parte funcional, o projeto pode ser considerado bem-sucedido em seu propósito. A simplificação proposta permitiu que os conceitos essenciais fossem demonstrados de forma clara e compreensível, o que atendeu ao objetivo educacional inicial, apesar das limitações técnicas observadas.

Em relação aos resultados, o projeto tem grande potencial de uso em outras áreas, especialmente na educação. O modelo simplificado do acelerador pode ser utilizado em aulas e workshops, tornando conceitos complexos de física mais acessíveis para estudantes e interessados. Além disso, o design arquitetônico prático pode servir como base para futuros protótipos que precisem de estruturas funcionais e didáticas, integrando ciência e educação de forma eficiente. A combinação de funcionalidade e clareza visual torna o projeto útil tanto para fins pedagógicos quanto para novos estudos em ambientes acadêmicos.

### **4. CONCLUSÕES**

Em conclusão, o projeto de construção do acelerador magnético simplificado alcançou seus objetivos principais ao demonstrar de forma didática os princípios da aceleração de partículas. A parte funcional, apesar de haver limitação em relação à força de aceleração, foi capaz de validar o funcionamento básico do acelerador, proporcionando uma compreensão acessível dos conceitos físicos envolvidos. A abordagem arquitetônica, ao destacar as principais estruturas, facilitou a visualização e o entendimento do modelo, cumprindo assim a proposta de tornar um tema complexo mais acessível.

Ademais, os resultados obtidos têm grande potencial de aplicação na educação e na divulgação científica. O modelo simplificado do acelerador pode ser usado em aulas, feiras de ciências e eventos, proporcionando uma experiência interativa que torna conceitos complexos de física mais acessíveis. Sua simplicidade pode inspirar novos protótipos e discussões sobre energia e magnetismo, promovendo a curiosidade científica. Assim, o projeto não só contribui para o ensino da física, mas também estimula o interesse por carreiras nas ciências exatas e na pesquisa.

### **5. REFERÊNCIAS**

LIU, L. et al. The Sirius project. **Journal of synchrotron radiation**, v. 21, n. 5, p. 904–911, 2014. Acesso em: 5 out. 2024.

CABALLERO, P. **Edifício Sirius / Paulo Bruna Arquitetos Associados**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/937258/edificio-sirius-paulo-bruna-arquitetos-associados>>. Acesso em: 5 out. 2024.

SILVA, R. A. DA; FERREIRA, H. S.; LIMA, J. R. T. Maquete do acelerador de partículas Sirius: uma abordagem investigativa para explorar a geração da luz síncrotron. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240099, 2024.

SOLANO REYNOSO, V. C.; PINTO CARNEIRO JUNIOR, M. Modelo Educacional de um acelerador magnético circular de partículas. **Revista Ensin@ UFMS**, v. 4, n. 8, p. 721–746, 2023.

CRTESTI. **Experimento - acelerador de partícula**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3wrB0jBpdSA>>. Acesso em: 18 oct. 2024.

Relação das referências já utilizadas no desenvolvimento do trabalho, deverão ser relacionadas às obras da literatura citadas, segundo normas da ABNT.

O documento deve ser assinado pelo orientador e bolsistas.



Documento assinado eletronicamente por **Noemi Barreto Sales Zukowski, Diretora-Geral**, em 07/02/2024, às 14:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2273080** e o código CRC **91EB87FE**.

---

Quadra 310 Sul, Lo 5, s/n, Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090  
Palmas/TO — 63 3236-4000  
[portal.iftto.edu.br](http://portal.iftto.edu.br) — [palmas@iftto.edu.br](mailto:palmas@iftto.edu.br)