

## Resumo

Freons são largamente utilizados para refrigeração em geral e também em experimentos físicos. Embora não atuem para redução da camada de ozônio, os gases utilizados atualmente contribuem significativamente para o efeito estufa. A fim de reduzir o impacto ambiental e também os custos dos experimentos, se faz necessário o desenvolvimento de um sistema de regeneração e reutilização desses gases. Este trabalho apresenta um projeto em desenvolvimento no laboratório de construção de RPCs Neusa Amato do CBPF, que pretende automatizar o processo de reciclagem do gás usado nestes detectores.

## Introdução

Gases refrigerantes são largamente utilizados tanto industrialmente quanto em diversos bens de consumo. Especificamente os clorofluorcarbonos (CFCs) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) já foram considerados os principais culpados pela diminuição da camada de ozônio, que é essencial para absorver a radiação ultravioleta do sol. Por isso desde 1987, através do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, os CFCs e HCFCs foram retirados de uso e hoje, pouco mais de três décadas depois, a camada de ozônio está começando a se recuperar. No entanto os gases refrigerantes usados atualmente continuam a causar impacto ambiental, principalmente os hidrofluorcarbonos (HFCs). Os HFCs não têm efeito prejudicial à camada de ozônio, mas sua capacidade de contribuir para o efeito estufa é de **mil a nove mil vezes maior** que a do dióxido de carbono. Em outubro de 2016, autoridades de mais de 170 países se reuniram em Kigali, Ruanda, para negociar um acordo que solucionasse o problema dos HFCs, o que foi alcançado por meio de uma emenda ao Protocolo de Montreal e resultou na descontinuação dos HFCs a partir de 2019. Ao contrário do acordo climático de Paris, o acordo de Kigali é obrigatório, com metas e cronogramas de ação específicos, sanções comerciais para punir o descumprimento e compromissos dos países ricos para ajudar a financiar o custo da transição, mas ainda assim, o processo de eliminação progressiva dos HFCs se desenvolverá ao longo de muitos anos. Os refrigerantes atualmente causam emissões ao longo de seus ciclos de vida – na produção, enchimento, serviço e quando vazam – mas seus danos são maiores no ponto de descarte. **Noventa por cento** das emissões de refrigerante ocorrem no final da vida útil. Se os produtos químicos (ou aparelhos que os utilizam) não forem eliminados de forma eficaz, eles escapam para a atmosfera e causam o aquecimento global. Por outro lado, a recuperação de refrigerante tem imenso potencial de mitigação. Após serem cuidadosamente removidos e armazenados, os refrigerantes podem ser purificados para reutilização ou transformados em outros produtos químicos que não causam aquecimento. Este último processo é caro e técnico, mas precisa se tornar uma prática padrão [1].

O impacto de um gás refrigerante no meio ambiente é caracterizado em termos de contribuição para o efeito estufa e destruição da camada de ozônio. O efeito estufa é medido em GWP (Global Warming Potential), que é o potencial integrado de 100 anos de um produto químico, ou a média ponderada dos GWPs dos produtos químicos em uma mistura, relativo ao  $CO_2$  ( $GWP_{CO_2} \equiv 1$ ). O efeito sobre a camada de ozônio é medido em ODP (Ozone Depletion Potential), normalizado para o efeito de  $CCl_3F$  ou  $CFC - 11$  ( $ODP_{CCl_3F} \equiv 1$ ). Uma comparação entre o gás utilizado neste projeto (R-134a) e o dióxido de carbono em relação a essas medidas (GWP e ODP) é mostrada na Tabela 1 [2], onde se observa que, embora o R-134a não contribua para a destruição da camada de ozônio, ele apresenta um valor de GWP bastante significativo.

Nome da molécula	Fórmula química	Identificador	GWP	ODP
Dióxido de carbono	$CO_2$	R744	1	0
1,1,1,2-Tetrafluoroetano	$CH_2FCF_3$	R134a	1430	0

Tabela 1. Comparação entre gás carbônico e o R134a.

## Experimentos físicos

Os experimentos de física de partículas dependem muito de detectores gasosos, devido aos seus grandes volumes e custo-benefício. Nesse contexto os freons (termo genérico para CFCs, HCFCs ou HFCs) desempenham um papel importante, uma vez que compõem misturas gasosas tradicionais bastante utilizadas nos detectores. Os gases à base de freon são essenciais para muitos detectores atualmente usados no CERN, os exemplos vão desde sistemas de múons, detectores RICH (Ring-Imaging Cherenkov), TPCs (Time-Projection Chambers), RPCs (Resistive-Plate Chambers) e MPGDs (Micro-Pattern Gas Detectors). O CERN desenvolveu várias estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa dos detectores de partículas. Conforme demonstrado pelo TPC do experimento ALICE, a atualização dos sistemas de recirculação de gás pode reduzir estas emissões em quase 100%. **Um complexo sistema de recuperação de gás (R-134a) em RPCs também está em estudo**, assim como o uso de gases comuns. Além disso, "ecogases" [2] alternativos são objeto de intensa P&D [3].

No CBPF, no laboratório Neusa Amato, são construídos RPCs do tipo MARTA [4], que utilizam o freon R-134a e são empregados no observatório Pierre-Auger e no SWGO (Southern Wide-field Gamma-ray Observatory) para fins de calibração. É nesse laboratório que está sendo desenvolvido o projeto apresentado neste trabalho. Já no LSD (Laboratório de Sistemas de Detecção) são desenvolvidos detectores que envolvem GEM (Gas Electron Multiplier) [5]. Embora utilizem uma mistura gasosa diferente, o princípio do projeto apresentado neste trabalho pode ser adaptado para a reciclagem do gás.

## Projeto em desenvolvimento

O projeto em desenvolvimento consiste na automatização da operação de reciclagem do gás utilizado em RPCs. A Figura 1 ilustra, de forma simplificada, os elementos envolvidos no ciclo do fluxo gasoso. Primeiramente o gás sai do reservatório e entra no RPC, após percorrer toda a sua parte interior ele segue para o sistema de controle que decide o destino do seu fluxo. Em um primeiro momento o sistema de controle habilita o fluxo do gás para uma bolsa específica de armazenamento de gás refrigerante. O sistema é capaz de detectar quando a bolsa está cheia, e quando isso acontece ele habilita o fluxo do gás armazenado na bolsa para a máquina recicladora, de modo que o fluxo da saída da RPC para a máquina esteja desabilitado. Ou seja, não é possível que o gás saia da RPC e vá diretamente para a máquina. Enquanto a máquina recicladora está em funcionamento ela é responsável por reciclar o gás armazenado na bolsa e entregá-lo de volta ao reservatório, encerrando o circuito do fluxo gasoso. O funcionamento da máquina ocorre até que a bolsa se esvazie, quando isso acontece o sistema de controle é capaz de detectar o evento e comuta o fluxo de gás para o estado anterior, isto é, da saída da RPC para a bolsa, de modo a enchê-la novamente. O sistema de controle possui três componentes principais: um sensor de pressão diferencial, que monitora o estado da bolsa; uma eletroválvula, que determina o destino do fluxo do gás; e um microcontrolador, que lê os dados do sensor de pressão e controla a eletroválvula, além de ligar e desligar a máquina recicladora. Um fluxograma do funcionamento do sistema de controle é apresentado na Figura 2.

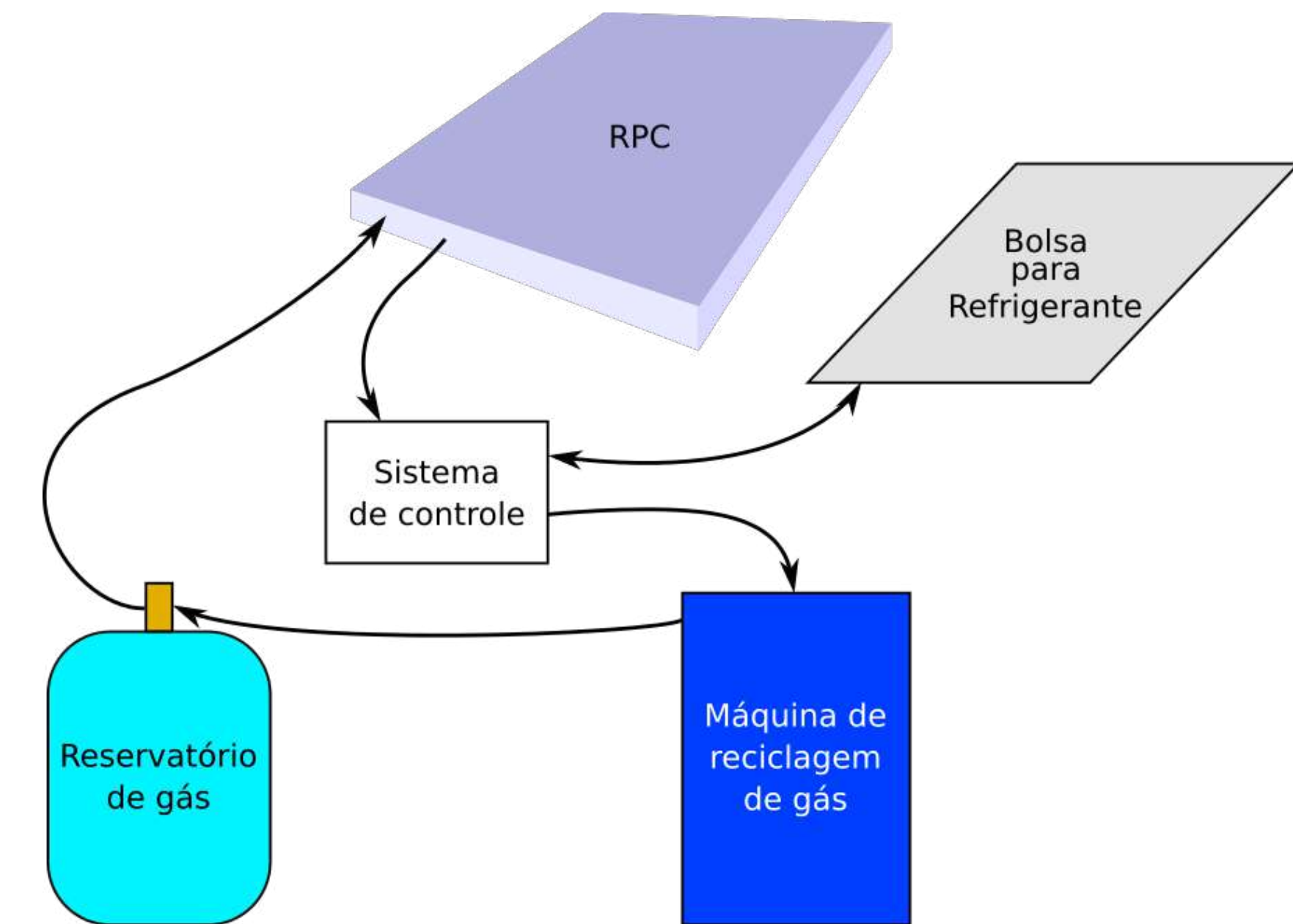


Figura 1. Ilustração do circuito percorrido pelo gás.

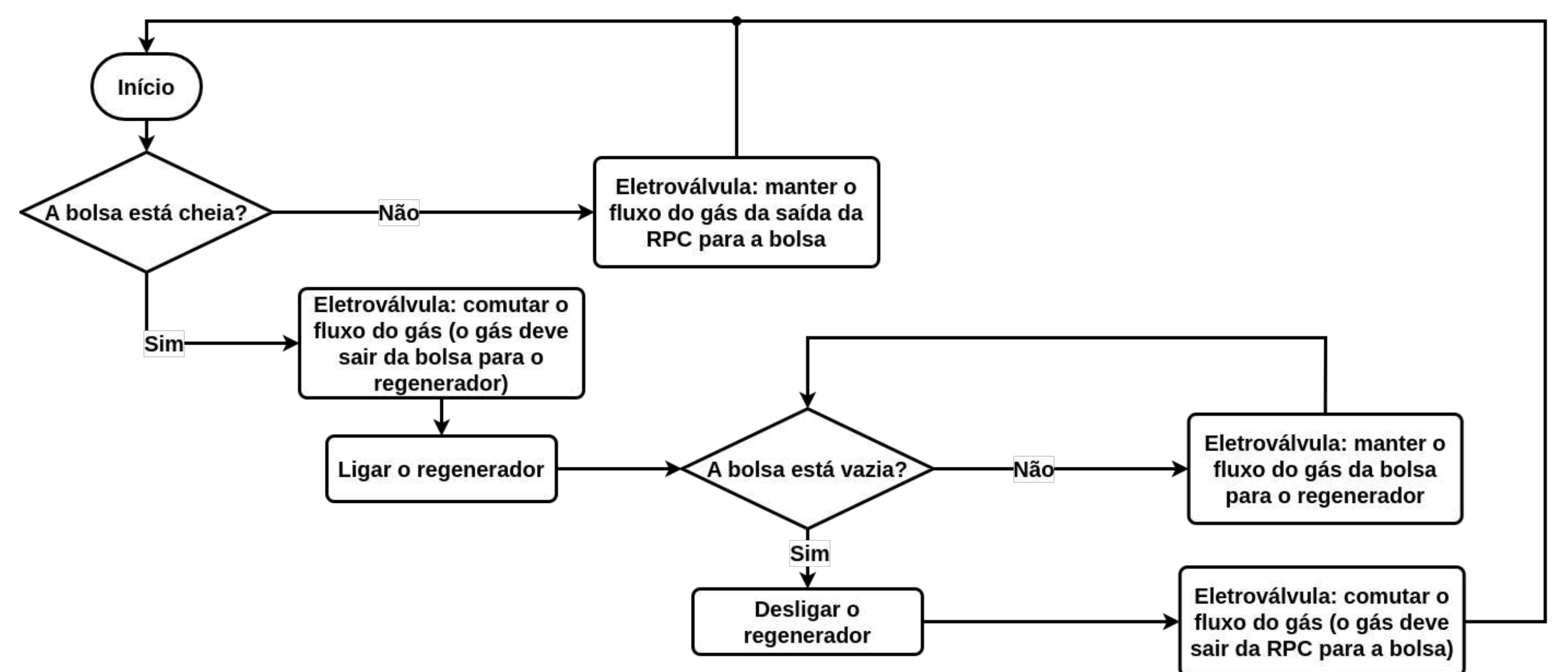


Figura 2. Fluxograma do funcionamento do sistema de controle.

A máquina recicladora do gás da RPC foi fabricada pela empresa Recigases [6], trata-se de uma máquina analógica que foi projetada para ser operada manualmente e que, neste trabalho, pretende-se automatizá-la. A Figura 3 mostra o seu painel, com algumas funções em destaque: botão de liga/desliga; LED verde, que indica que o compressor está em funcionamento; LED vermelho que indica que há alta pressão no sistema, ou seja, quando o recipiente conectado na entrada for esvaziado; LED laranja que indica que o recipiente conectado na saída está cheio; botão de fazer vácuo. A máquina possui dois dispositivos de segurança que a desligam automaticamente: um quando o recipiente conectado na entrada for esvaziado e outro quando o recipiente conectado na saída estiver cheio. Os dois manômetros visíveis na Figura 3 servem justamente para indicar isso. O manômetro à esquerda acusa a baixa pressão na entrada e o manômetro à direita acusa a alta pressão na saída.



Figura 3. Painel da máquina recicladora de gás.

## Conclusão

Este trabalho apresenta um projeto em desenvolvimento que tem sua relevância evidenciada pela redução de danos ao meio ambiente, bem como de custos e também a possibilidade de adaptação para outros experimentos.

## Referências

- [1] HAWKEN, P. *Drawdown: The Most Comprehensive Plan Ever Proposed to Reverse Global Warming*. New York, New York, USA: Penguin Books, 2017.
- [2] SAVIANO, G. et al. Properties of potential eco-friendly gas replacements for particle detectors in high-energy physics. *JINST* 13 P03012, 2018.
- [3] CERN, A. S. *Greening gaseous detectors*. 2021. Disponível em: <<https://cerncourier.com/a/greening-gaseous-detectors/>>. Acesso em: 14 out. 2022.
- [4] SARMENTO, R. et al. Muon Array with RPCs for Tagging Air showers (MARTA) . *PoS, ICRC2015*, p. 629, 2016.
- [5] INÁCIO, S. A.; MARINHO, P. R. B.; JR., H. L. Estudo e desenvolvimento de um detector a gás utilizando dispositivos thick-gem. *Notas Técnicas - Publicações do CBPF*, 2019.
- [6] RECIGASES. 2022. Disponível em: <<https://www.recigases.com/recigases>>. Acesso em: 14 out. 2022.