

# A BATERIA TAMPÃO NAS REDES DE TRACÇÃO ELÉCTRICA

Manuel Vaz Guedes

FEUP — Faculdade de Engenharia  
Universidade do Porto

## Sumário

*Numa época de mudança tecnológica algumas soluções electrotécnicas têm uma evolução rápida, como a bateria tampão e o grupo Pirani. Este artigo descreve o funcionamento e os problemas daquele sistema regulador da tensão das redes de tracção eléctrica, assim como é descrita a sua aplicação na rede de carros eléctricos da cidade do Porto.*

## Abstract

*In times of technological change some electrical solutions have a rapid evolution, as batteries and the reversible booster. This article describes the performance and problems of that line voltage regulating system, and also describes its application in the tramway service of Oporto.*

Na alimentação das primitivas redes de tracção eléctrica, que cobriam apenas uma dezena de quilómetros e que possuíam uma dezena de veículos, utilizavam-se geradores eléctricos de fraca potência. Com a variação da carga eléctrica imposta pelo serviço de tracção esses geradores tinham um regime de carga com variações amplas e bruscas, o que obrigava a que a maior parte do tempo estivessem a funcionar com um baixo rendimento.

Uma forma de solucionar o problema surgiu em 1895 com a utilização de uma *bateria tampão*, formada por uma série de acumuladores, ligada em paralelo com o barramento da estação central, e com a função de uniformizar a carga eléctrica dos geradores da Central, [1].

Esta montagem não permitia obter uma regularização do valor da tensão na linha, porque na descarga da bateria diminui a tensão nos terminais do seu circuito e durante a carga esse valor tende a aumentar. Por isso passou-se a utilizar, em série com a bateria de acumuladores, um gerador hipertensor-hipotensor que durante a descarga da bateria fornecia uma tensão suplementar e durante a carga diminuía o valor da tensão; desta forma reduzia-se o valor da variação da tensão no barramento da

estação.

Surgiram, então, várias montagens capazes de efectuar esta regularização da tensão [2], mas a única que foi utilizada na rede de carros eléctricos da cidade do Porto foi uma montagem envolvendo máquinas eléctricas de corrente contínua: o *grupo Pirani*.

A evolução desta solução técnica tem o maior interesse numa perspectiva da *História da Electrotecnia*, [3]. Surgindo nos primórdios da electrificação dos sistemas de transporte público, esta montagem de máquinas eléctricas trabalhava associada a um banco de acumuladores que, nessa época, apresentavam graves problemas de manutenção. Também o rápido crescimento dessas redes eléctricas de tracção levou à adopção de máquinas geradores de elevada potência, que tinham uma menor variação do rendimento com a variação da carga eléctrica. Desta forma, acabou por se impor o abandono da utilização daquele compensador de carga electromecânico.

Este exemplo significativo de evolução de uma solução tecnológica, tem um valor pedagógico notável, porque refazendo-se constantemente a tecnologia, alguns dos seus processos repetem-se, e um conhecimento de situações análogas permite valorizar, com antecedência, a evolução de qualquer

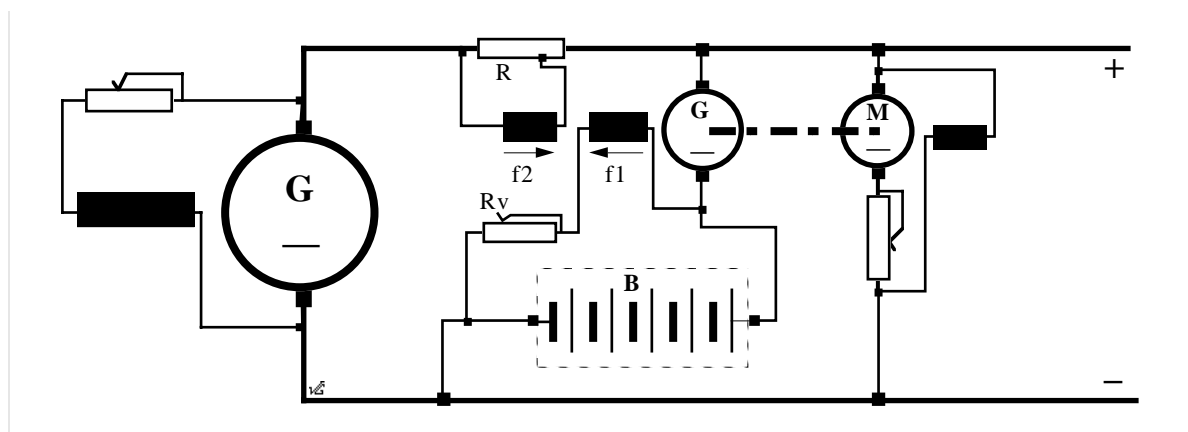


Fig. 1 – Bateria tampão e grupo Pirani

solução tecnológica emergente.

Na análise desta solução começa-se por apresentar o problema da regulação da carga eléctrica de uma estação central geradora de corrente contínua que alimentava uma pequena rede de carros eléctricos. Nessa situação torna-se clara a vantagem da aplicação de uma bateria tampão, assim como se clarifica o seu modo de funcionamento. Verifica-se a necessidade de um grupo hipertensor-hipotensor, e para o grupo Pirani descreve-se a respectiva instalação. No final revêem-se aspectos técnicos de antigas instalações da rede de transportes públicos com carros eléctricos na cidade do Porto (1909).

## 1. A Regulação de Carga

O tipo de serviço realizado pelos veículos de tracção eléctrica numa linha de transporte de passageiros e de mercadorias tem forte influência sobre o desenvolvimento do diagrama de cargas da estação central geradora de energia eléctrica, que abastece a rede de tracção.

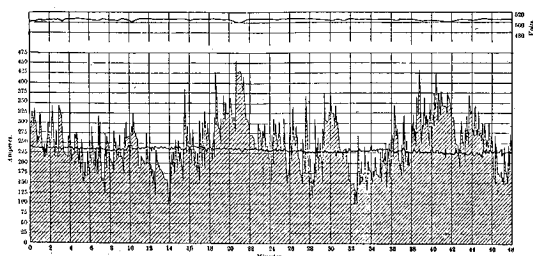


Fig. 2 – Diagrama de cargas típico (Remscheid 1897)

Enquanto que as frequentes paragens de serviço para saída e entrada de passageiros, e o fluxo do trânsito em que se encontram integrados, provocam situações frequentes de arranque, com a elevação do valor da intensidade de corrente eléctrica durante curtos intervalos de tempo, já os acidentes de percurso — curvas, rampas, e irregularidades da linha — provocam uma variação prolongada da potência eléctrica fornecida à rede. O resultado, para uma linha de tráfego pequeno, mas de percurso acidentado, pode ser um diagrama de cargas como o da figura 2.

O resultado do andamento do diagrama de cargas característico de uma linha de tracção de pequeno, ou de médio, tráfego é que a carga média é muito inferior à carga máxima para a qual a instalação está dimensionada. Daí resultam más condições de funcionamento, tanto mecânicas como eléctricas.

O comportamento mecânico do sistema gerador, formado por um motor térmico (máquina a vapor) e por um gerador de corrente contínua era caracterizado por um baixo rendimento em potência, porque as máquinas funcionavam a maior parte do tempo num regime diferente do regime de máximo rendimento. Também a ligação mecânica entre a máquina primária e o gerador, normalmente efectuada por correias era afectada pelo deslizamento, devido às correias estarem reguladas (tensas) para a carga máxima, [4].

O principal problema eléctrico resultante de um diagrama de cargas tão variável ocorria com a

dificuldade de manter o valor da tensão da linha constante. Dessa forma nem sempre as lâmpadas de iluminação e os motores eléctricos dos veículos podiam funcionar nas melhores condições.

Uma solução para estes problemas tinha de provocar a uniformização do débito de energia eléctrica dos conversores: havia que fornecer energia nos momentos de maior necessidade. Para isso utilizou-se uma bateria de acumuladores em paralelo com o barramento principal da estação central a que estavam ligados os geradores.

Com esta solução, ficava em paralelo com os geradores uma bateria de acumuladores, colocada na estação central ou em qualquer outro ponto da rede, que, mediante artifícios de montagem, conseguia uniformizar os débitos de energia dos geradores. Estas máquinas eléctricas podiam, então, trabalhar permanentemente num regime de rendimento máximo.

Durante os breves instantes em que a carga perdida pela rede de tracção ultrapassava a carga fornecida pelo gerador, a bateria de acumuladores descarregava-se porque a sua tensão era superior a um valor médio de tensão no barramento; com a diminuição da carga eléctrica da Central a bateria de acumuladores carregava-se porque a tensão no barramento era superior ao valor médio definido. Nalguns casos, o número de acumuladores que formavam a bateria era regulado por um redutor manual.

A bateria de acumuladores tinha uma função análoga à de um volante de inércia, que armazena ou liberta energia mecânica de uma forma proporcional à variação da velocidade do corpo em movimento rotativo. O efeito amortecedor da bateria de acumuladores deu-lhe o nome de *bateria tampão*.



Fig. 3 – Acumulador (1898)

No fim do século XIX as baterias de acumuladores para estações geradoras eram formadas por um série de unidades, constituídas por vários eléctrodos de chumbo imersos em água acidulada e colocados num vaso de vidro ou de madeira revestida a chumbo, [5].

O regime de funcionamento dos acumuladores destas baterias não era o mais aconselhado para a sua conservação. O regime alternado irregular de carga e descarga, a que ficava submetida a série de unidades, acompanhando a variação de carga eléctrica da rede de tracção, provocava uma carga irregular dos acumuladores e, como consequência, a sua deterioração.

A acrescentar a estes problemas devidos ao tipo de aplicação específica da bateria de acumuladores, subsistiam os problemas habituais na utilização daqueles componentes: era necessário um espaço apropriado (muito arejado e com baixa temperatura ambiente) para montagem da bateria de acumuladores; a manutenção da bateria exigia uma constante vigilância; requeria grande cuidado a manipulação dos vasos, pesados e cheios de água acidulada; e o tempo útil de utilização dos eléctrodos de chumbo não era longo.

Mas a variação da tensão do barramento e o regime alternado irregular de carga e de descarga da bateria tampão, que constituía um mau regime de funcionamento para a sua conservação, levou à utilização de um gerador hipertensor-hipotensor em série com a bateria.

## 2. O Grupo Pirani

O gerador hipertensor-hipotensor em série com a bateria tampão, provoca uma queda ou o aumento da tensão no circuito da bateria, obrigando a bateria a ceder ou a receber corrente, mas mantendo o valor da tensão nos terminais do barramento.

No entanto, é necessário um processo automático, ou autocompensador, que torne a acção do gerador hipertensor-hipotensor em série com a bateria, independente da carga da rede.

Existiram várias montagens capazes de resolver este problema, [6]. O sistema mais utilizado era o *grupo Pirani*. Este grupo de máquina eléctrica, representado na figura 1, é formado por um motor de corrente contínua (M) que acciona um gerador de corrente contínua (G) em série com a bateria de acumuladores (B). O gerador de corrente contínua tem uma excitação do tipo composta diferencial, com um dos circuitos indutores (f1) alimentado pela tensão da bateria e o outro circuito indutor (f2) percorrido por uma corrente eléctrica proporcional à intensidade da corrente eléctrica de carga no barramento da Central.

Numa situação de carga normal (plena carga) o gerador hipertensor-hipotensor não deve estar excitado, pelo que as forças magnetomotrizes criadas pelos dois enrolamentos indutores devem ser iguais, o que se calibra através do reóstato (Rv).

Quando a carga eléctrica no barramento aumenta, o efeito de excitação do enrolamento f2 ultrapassa o efeito do enrolamento f1 e o gerador ficará excitado de forma a produzir uma força electromotriz que provoca o aumento de tensão nos terminais do circuito da bateria de acumuladores. Nessa altura, a bateria fornecia corrente eléctrica para o barramento, compensando o aumento de carga eléctrica da rede de tracção, e descarregando-se.

Quando a carga eléctrica no barramento diminui, o efeito de excitação do enrolamento f2 diminui face ao do enrolamento f1 e o gerador ficará excitado de forma a produzir uma força electromotriz (de sentido contrário ao anterior) que provoca a diminuição de tensão nos terminais do circuito da bateria de acumuladores. Nessa altura, a bateria recebia corrente

eléctrica do barramento, compensando a diminuição de carga eléctrica da rede de tracção, e carregando-se.

Note-se que o sistema tinha sempre irregularidades nas suas características de funcionamento, porque a queda de tensão em cada acumulador depende não só da corrente eléctrica fornecida mas também do tempo de fornecimento.

Quando a carga eléctrica do barramento era muito elevada, o gerador hipertensor-hipotensor tinha uma potência elevada e o seu circuito indutor era alimentado por um outro gerador, funcionando como excitatriz, e accionado pelo mesmo motor; o circuito indutor da excitatriz era alimentado por um pequeno gerador com um circuito indutor composto diferencial, [7].

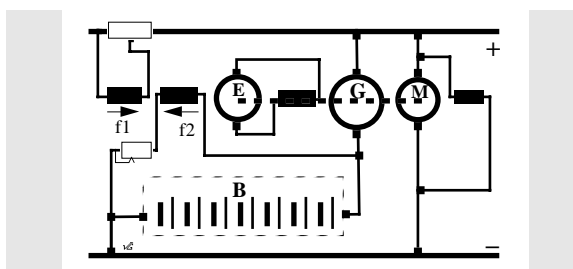


Fig. 4 – Grupo Pirani com excitatriz

Para o gerador do grupo Pirani efectuar, regularmente, a carga completa da bateria, possuía dois enrolamentos do induzido com dois colectores que na situação de carga da bateria eram ligados em série e na situação de funcionamento normal como regulador estavam ligados em paralelo.

Em todos os casos o gerador do grupo Pirani era sempre dimensionado de forma a que o seu circuito magnético estava afastado da saturação, preservando as características lineares necessárias a uma regulação que deveria ser proporcional à variação da carga.

O grupo Pirani, como sistema compensador de uma bateria tampão, sofreu algumas alterações na sua montagem, sendo apresentado habitualmente como solução do problema da regulação da tensão nas Centrais de corrente contínua, [8].

## 3. Antigas Instalações

A bateria tampão associada ao grupo Pirani, como solução do problema da regulação da tensão na rede eléctrica de tracção, foi utilizado pela Companhia Carris de Ferro do Porto, [9].

No projecto feito em 1909, e ampliado em 1912, pelo Engenheiro Luís Couto dos Santos para a Estação Central Geradora de Massarelos e para as respectivas subestações de tracção encontra-se aplicado este sistema de regulação. Mas, já em 1924 [10] estes sistemas estavam fora de serviço, por avaria ou por dificuldades na manutenção dos acumuladores.

Para a Central de Massarelos estava projectada, e chegou a funcionar, uma bateria tampão de 265 unidades, do tipo Tudor. Cada unidade possuía dezasseis eléctrodos positivos e dezasseis eléctrodos negativos. Esta bateria de acumuladores, que tinha

uma capacidade de 944 Ah e que o projecto previa que fornecesse uma corrente máxima de 1400 A <sup>[1]</sup>, estava instalada num edifício anexo ao corpo da sala das máquinas do edifício principal da Central.

A bateria tampão estava ligada a um grupo Pirani formado por um motor de corrente contínua, por um gerador de corrente contínua e por uma excitatriz.

máquina	Potência	Tensão	Observações
Motor	77,2 kW	550 V	1 500 r/m
Gerador	66 kW	66 V	colector em série
		132 V	colector em paralelo
Excitatriz	0,33 kW	± 110 V	—

Em 1921/22 a Companhia Carris de Ferro do Porto emprestou à Faculdade Técnica da Universidade do Porto <sup>[12]</sup> um grupo Pirani, como o atrás descrito, que foi aplicado como transformador de corrente contínua de 550 V para 110 V; foi utilizada na alimentação das restantes máquinas do Laboratório Electrotécnico, <sup>[13]</sup>. A Companhia Carris de Ferro do Porto ofereceu, também, a energia eléctrica em corrente contínua 550 V a partir da sua rede.

Nas subestações de tracção — Castelo do Queijo, Telheiras e Contumil — existiu um sistema regulador formado por uma bateria tampão e um grupo Pirani, que funcionava em paralelo com a comutatriz em serviço. Mas, não há notícia sobre as características nominais desse material eléctrico; apenas se sabe que em 1924 os acumuladores estavam avariados, e o sistema fora de serviço.

#### 4. Síntese

Durante um quarto de século (1895 a 1920) foram utilizados a bateria tampão e o grupo Pirani como sistema autocompensador da carga de uma estação central geradora de energia para tracção eléctrica.

O aumento de tráfego, e o conseqüente aumento da potência das redes de tracção eléctrica, provocaram uma diminuição da importância deste sistema regulador. As dificuldades provocadas pelas exigências de manutenção dos acumuladores da bateria, motivados pelo uso e pelo seu particular regime de funcionamento, ajudaram à retirada de serviço deste compensador electromecânico.

A constituição deste sistema regulador, formado por componentes facilmente reutilizáveis, principalmente as máquinas eléctricas, contribuiu para o seu completo desaparecimento.

Desta forma, a aplicação da bateria tampão e do grupo Pirani tornou-se um exemplo significativo do comportamento duma solução electrotécnica em época de mudança tecnológica.

#### Notas e Referências

<sup>[1]</sup> um exemplo é a linha de Fontainebleau (1896), de via simples, com 3,2 km, 6 veículos motores e seis veículos atrelados, uma potência global de 220 kW e uma bateria de acumuladores para 40 viaturas km

<sup>[2]</sup> na linha de Zurique–Hirslanden existia uma bateria de 300 unidades, 240 Ah a 21 A; na linha de Brockenzell existia uma bateria de 318 unidades, fornecendo 38 A, dividida em três grupos porque o dínamo da Central não conseguia carregar a bateria completa; em Remscheid existia uma bateria de acumuladores com compensador de carga

<sup>[3]</sup> Vaz Guedes, M.; “*História da Electrotecnia*”, Electricidade, nº 332, pp. 90–93, 1996

<sup>[4]</sup> Sarmento Beires, R.; *Electricidade Aplicada — Correntes Fortes*, AEFEUP, 1952/53

<sup>[5]</sup> no caso da cidade de Remscheid, com uma rede de 11 km e rampas de 10‰, com a potência global de 300 kW, a bateria de acumuladores tinha 250 elementos, a capacidade de 648 Ah com uma corrente de descarga de 216 A.

<sup>[6]</sup> Schroeder, L.; “*Sur l’emploi des accumulateurs dans les stations centrales de tramways électriques*”, L’Éclairage Électrique, XIII, nº 41, pp. 78–83, 1897

<sup>[7]</sup> em Remscheid (1897) o gerador hipertensor—hipotensor tinha uma potência de 60 kW, 100 V, por isso existia uma pequena excitatriz a alimentar o seu circuito indutor

<sup>[8]</sup> Kyser, H.; *Transport de L’Énergie Électrique*, Tome Troisième, Ch. Béranger, 1927

<sup>[9]</sup> a respectiva documentação encontra-se no Museu do Carro Eléctrico da Sociedade de Transportes Colectivos do Porto (MCE)

<sup>[10]</sup> Vaz Guedes, M.; “*1924 — A Estação Central Geradora de Massarelos*”, 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica da Ordem dos Engenheiros, pp. 353–364, Lisboa 1995

<sup>[11]</sup> esta bateria tinha estado instalada, antes de 1903, na subestação do Corpo da Guarda, onde funcionava associada a um hipertensor, e era regulada manualmente por um redutor

<sup>[12]</sup> A Faculdade Técnica da Universidade do Porto foi a Escola de Engenharia que sucedeu (1915) à Academia Politécnica do

Porto (1837) e antecedeu a Faculdade de Engenharia (1926)  
[<sup>13</sup>] ver notícia e fotografia do grupo Pirani in Couto dos Santos, L.; *O Ensino da*

*Electrotecnia na Faculdade de Engenharia do Porto*, I Congresso Nacional de Engenharia, 1932

***Informação sobre o autor***

*Manuel Vaz Guedes, licenciado e doutorado em Engenharia Electrotécnica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Associado com Agregação na FEUP.*