

logotipo da
empresa/instituição

APLICAÇÃO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA EM ELEMENTOS DE BANCOS DE BATERIAS COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO

**GRUPO – 12 / C.M.Garcia,
T.Manczak, M.V.Haas Rambo,
P.R.Impinnisi, J.Andrade**

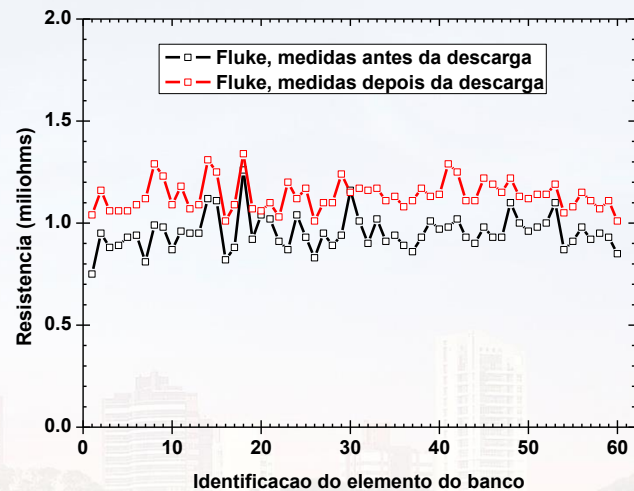
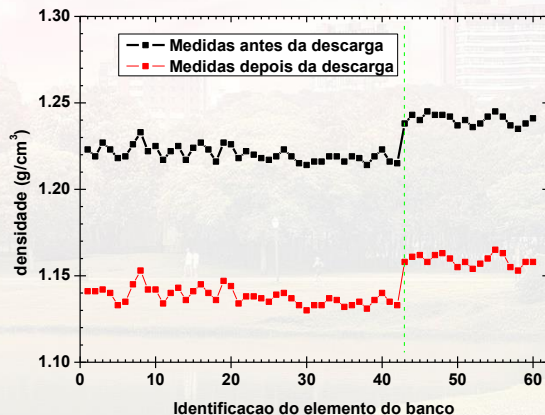
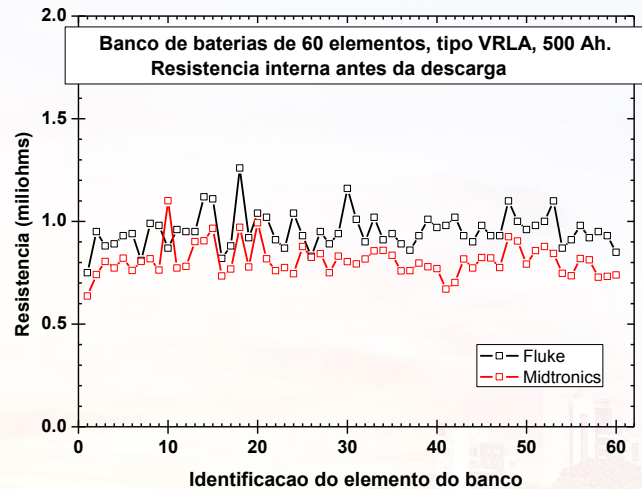
Como avaliar bancos de baterias hoje? Medidas em cada elemento

- Medida de tensão em flutuação, V.
- Medida da densidade do eletrólito, δ (g/cm³)
- Medida da temperatura, T.
- Medida da resistência interna, R_i (ohms ou miliohms).

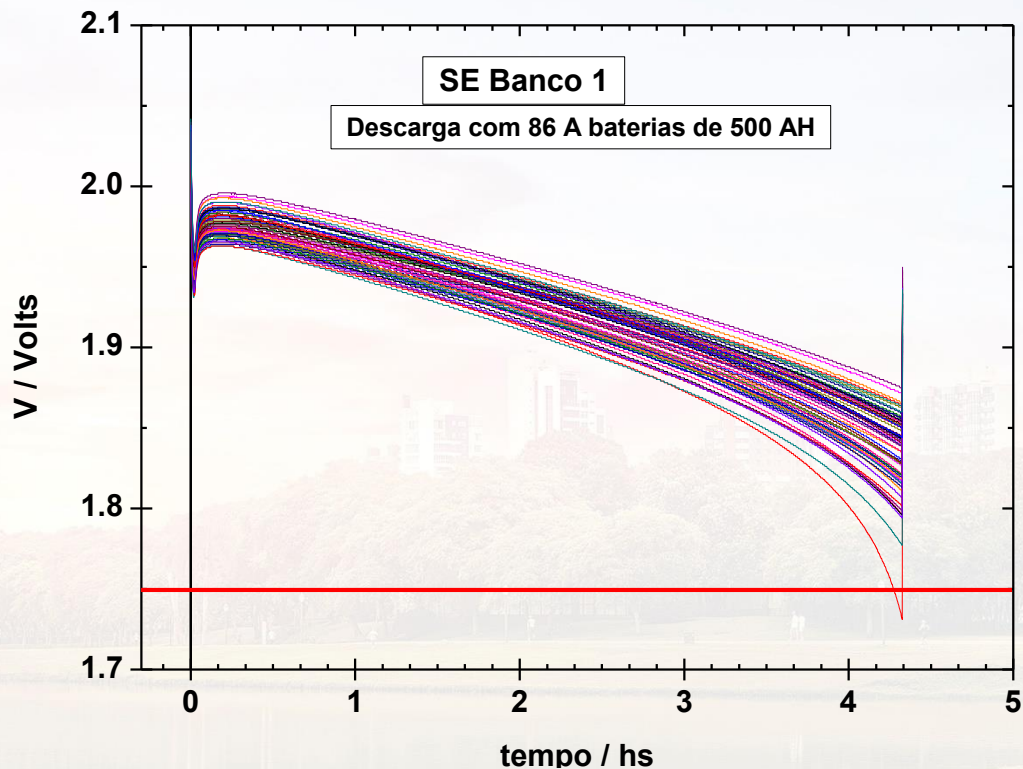
Caso seja detectado algum problema, é realizado o teste de capacidade (descarga a corrente constante, descarga C10 geralmente) . Igualmente este teste é realizado anualmente, ou por períodos pré-fixados.





























































Existem equipamentos comerciais para medir a resistência interna. Estas medidas, como outras, dependem da T, SOC, são medidas auto-referenciadas (compara-se com valor anterior).

R_i informa sobre degradação, mas como veremos, baterias novas ou ruins podem apresentar o mesmo valor.



MEDIDAS DE CAPACIDADE BATERIAS DE 500 Ah

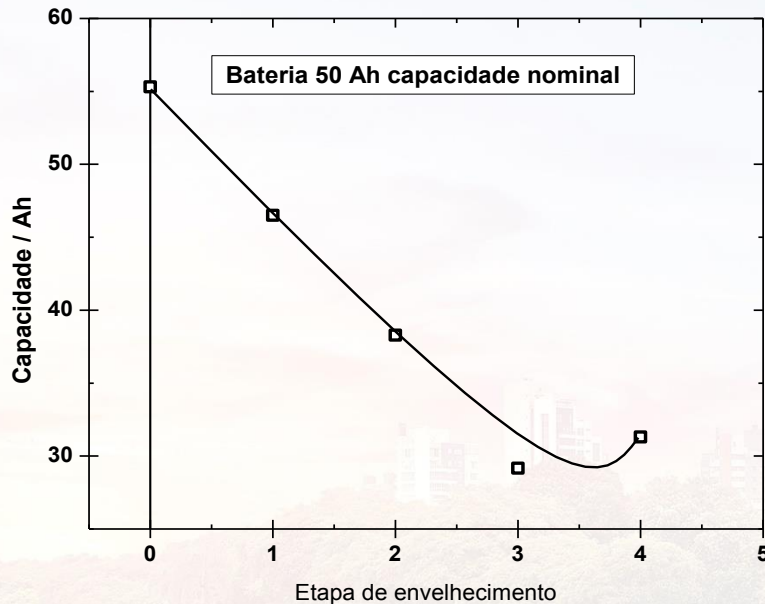


	"c/b no. 1"		"c/b no. 21"		"c/b no. 41"
	"c/b no. 2"		"c/b no. 22"		"c/b no. 42"
	"c/b no. 3"		"c/b no. 23"		"c/b no. 43"
	"c/b no. 4"		"c/b no. 24"		"c/b no. 44"
	"c/b no. 5"		"c/b no. 25"		"c/b no. 45"
	"c/b no. 6"		"c/b no. 26"		"c/b no. 46"
	"c/b no. 7"		"c/b no. 27"		"c/b no. 47"
	"c/b no. 8"		"c/b no. 28"		"c/b no. 48"
	"c/b no. 9"		"c/b no. 29"		"c/b no. 49"
	"c/b no. 10"		"c/b no. 30"		"c/b no. 50"
	"c/b no. 11"		"c/b no. 31"		"c/b no. 51"
	"c/b no. 12"		"c/b no. 32"		"c/b no. 52"
	"c/b no. 13"		"c/b no. 33"		"c/b no. 53"
	"c/b no. 14"		"c/b no. 34"		"c/b no. 54"
	"c/b no. 15"		"c/b no. 35"		"c/b no. 55"
	"c/b no. 16"		"c/b no. 36"		"c/b no. 56"
	"c/b no. 17"		"c/b no. 37"		"c/b no. 57"
	"c/b no. 18"		"c/b no. 38"		"c/b no. 58"
	"c/b no. 19"		"c/b no. 39"		"c/b no. 59"
	"c/b no. 20"		"c/b no. 40"		"c/b no. 60"

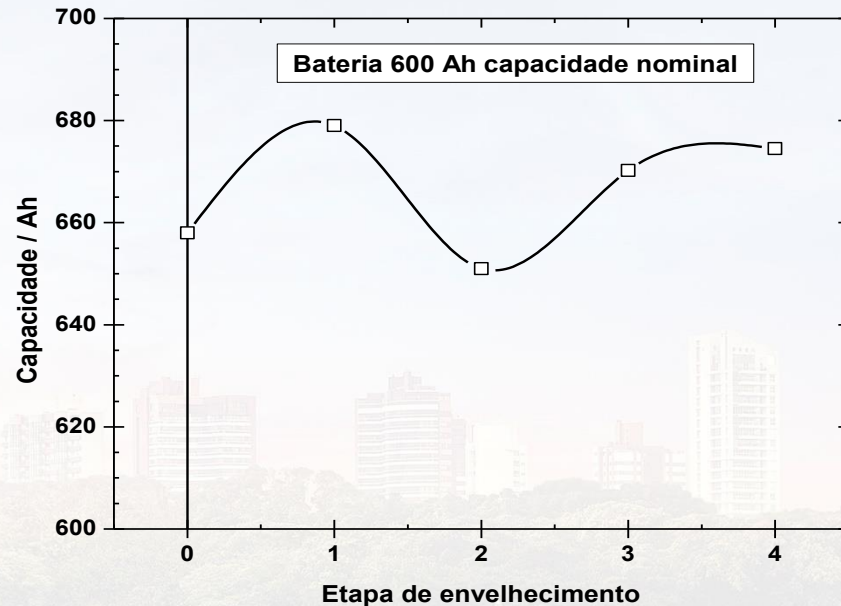
Uma das ferramentas mais promissoras para acessar o estado operacional das baterias é a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica – EIS. Caracteriza o comportamento dinâmico da bateria, ou seja, caracteriza a resposta do sistema a uma perturbação externa de pequena amplitude (pequena o suficiente para permanecer na região linear, 10 mV). “...o EIS contém todas as informações que podem ser extraídas da bateria por métodos lineares de perturbação elétrica”. As análises da evolução dos diagramas de EIS com a variação do estado operacional das baterias permite a identificação, interpretação e quantificação de mudanças físicas internas, como porosidade das placas, sulfatação dos eletrodos, variações de concentração do eletrólito, além de permitir determinar os valores de parâmetros internos como a resistência ôhmica, a resistência à transferência de carga, a resistência difusional, a carga da dupla camada, entre outros considerados importantes para determinar o estado operacional das baterias.

Baterias tipo VRLA, comerciais, 50 e 600 Ah, tensão nominal 2 V, placas planas.

- 1.- Estabilização das baterias: ciclos de carga/descarga até que 3 medidas consecutivas da capacidade apresentassem diferenças inferiores a 4 %.
Descargas: regime de 10 horas, C_{10} (5 A para as baterias de 50 Ah e 60 A para as baterias de 600 Ah).
Cargas: realizadas seguindo o indicado pelo fabricante, limitando a corrente de carga ao valor I_{10} (capacidade dividida por 10) e com tensão de carga de 2,4 V.
- 2.- Envelhecimento: baterias de 50 Ah realizado em câmara térmica com $T = \text{cte}$, por períodos de 1 mês a 50°C, com tensão de flutuação de 2,3 V. Baterias de 600 Ah, mesmo procedimento, períodos de 1 mês, mas a temperatura foi de 40°C, mantendo-as na mesma tensão de flutuação de 2,3 V.



Variação da capacidade de uma bateria tipo VRLA, capacidade nominal 50 Ah, de placas planas, com o processo de envelhecimento em câmara térmica a 50°C, com tensão de flutuação de 2,3 V.



Variação da capacidade de uma bateria tipo VRLA, capacidade nominal 600 Ah, de placas planas, com o processo de envelhecimento em câmara térmica a 40°C, com tensão de flutuação de 2,3 V.

Equipamento: potenciostato/galvanostato marca Gamry.

EIS galvanostática: aplicação de sinal senoidal em corrente: $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$

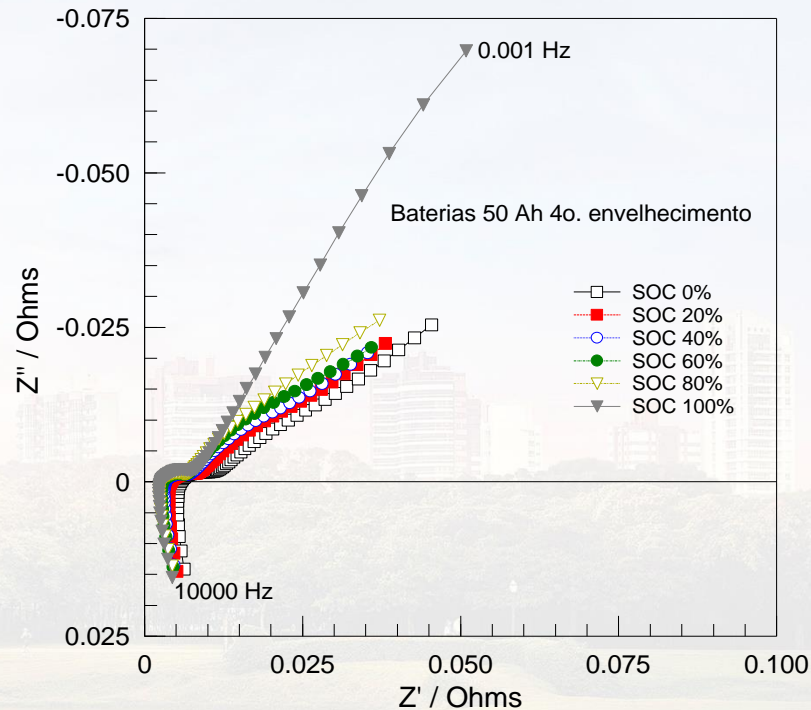
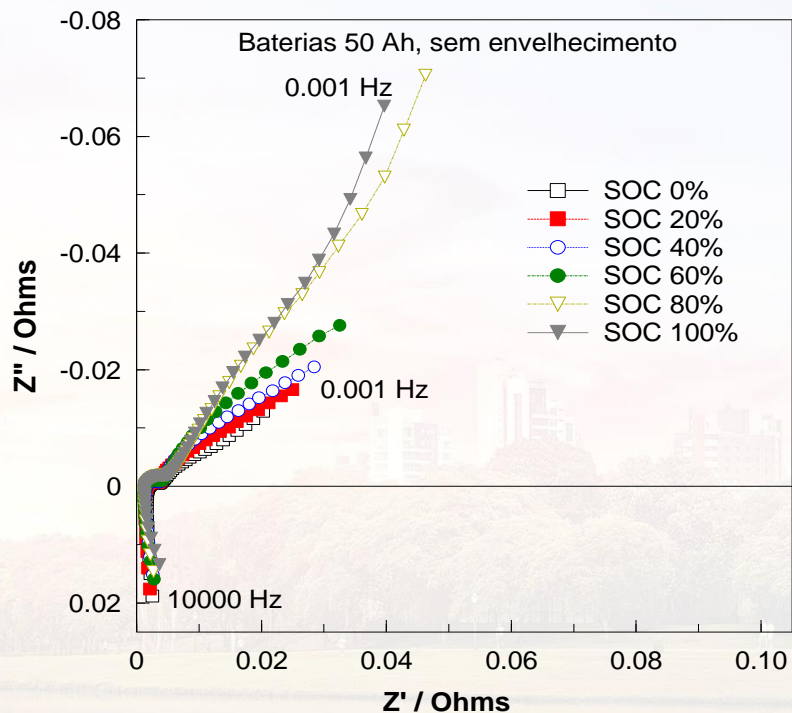
$\omega = 2.\pi.f$, f = frequência, e I_0 é a amplitude. $10^{-3} \text{ Hz} < f < 10^3 \text{ Hz}$

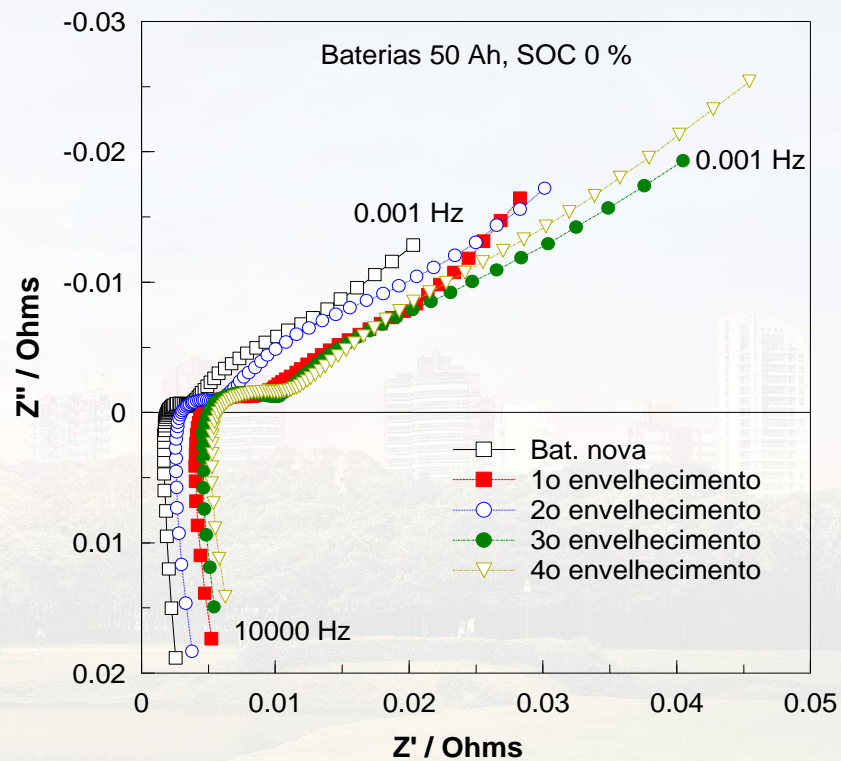
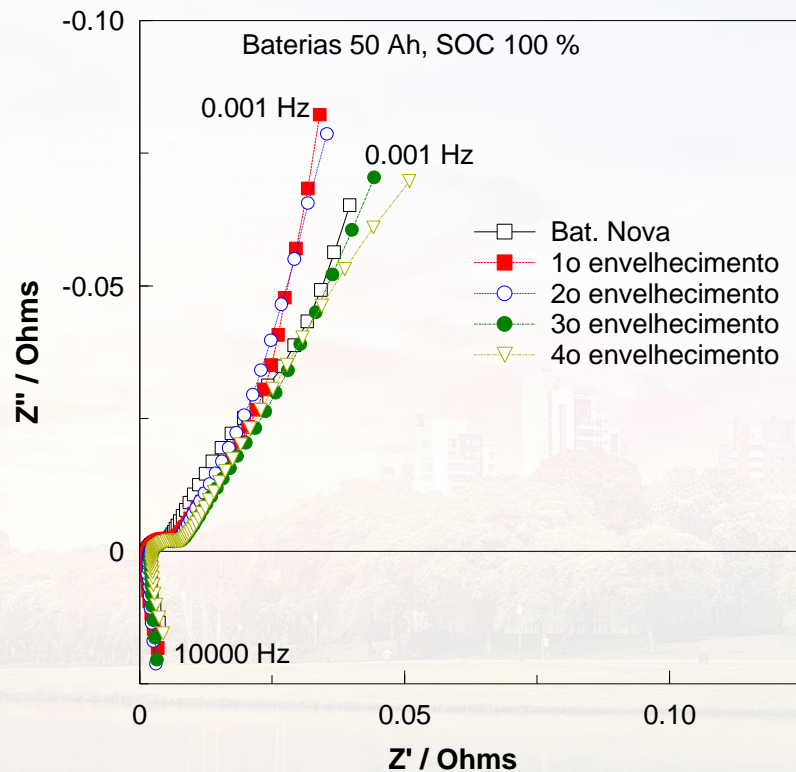
$$I_0 = 50 \text{ mA (baterias de 50 Ah)}, 500 \text{ mA (baterias de 600 Ah)}$$

Em um sistema linear, a resposta $E(t)$ da bateria está deslocada na fase φ e tem uma amplitude E_0 , tal que $E(t) = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$. A impedância do sistema será:

$$Z = \frac{E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)}{I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)} = Z_0 \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t - \varphi)}{\sin(\omega \cdot t)}, \text{ usando as relações de Euler: } Z(f) = \frac{E_0}{I_0} \cdot e^{j\varphi}$$

Assim, a EIS de uma bateria é um número complexo dependente da frequência caracterizado pela parte real e pela parte imaginária, ou pelo módulo $|Z| = E_0/I_0$ e seu ângulo de fase $\varphi \rightarrow$ **ANÁLISE NO PLANO COMPLEXO**.







Frequências intermédias:

Resistência interna R_i

Primeiro semi-círculo: R1 e C1

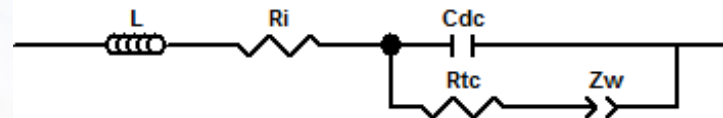
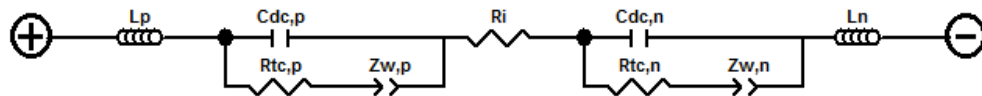
Frequências menores:

Difusão: Warburg?

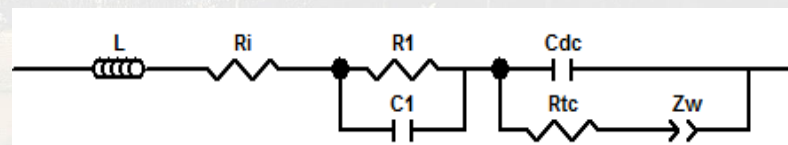
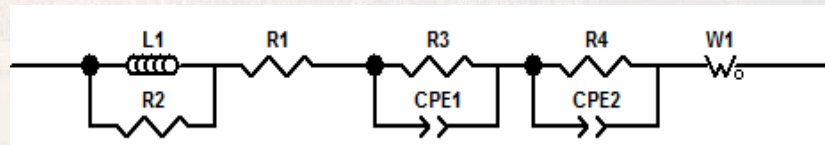
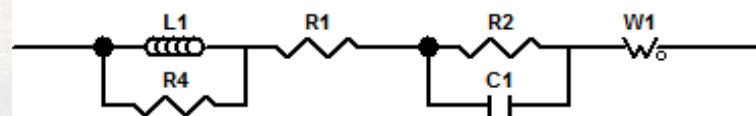
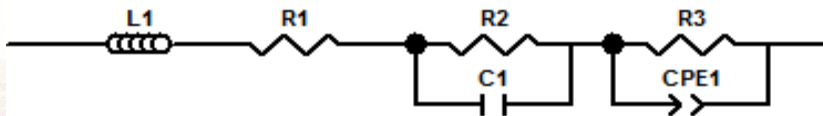
Estrutura porosa das placas

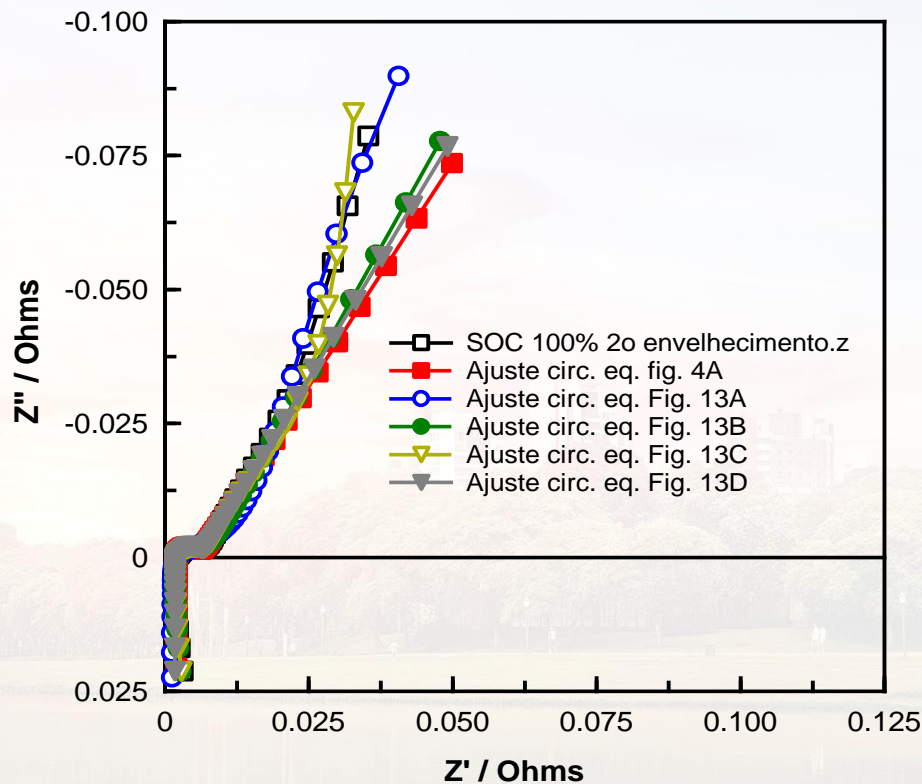
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os fenômenos físico-químicos podem ser descritos por elementos de circuitos elétricos: resistores, capacitores, indutores, elementos difusionais. Assim, são propostos modelos de circuitos para realizar os ajustes (“fittings”) e obter valores dos elementos que compõem os modelos. Considerando placas positiva e negativa:

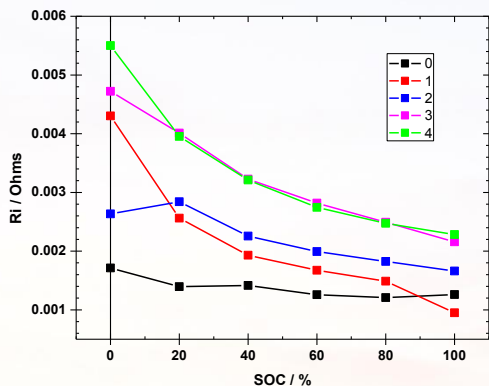


Circuito proposto por GOPIKANTH, A: modelo completo, B: modelo simplificado.

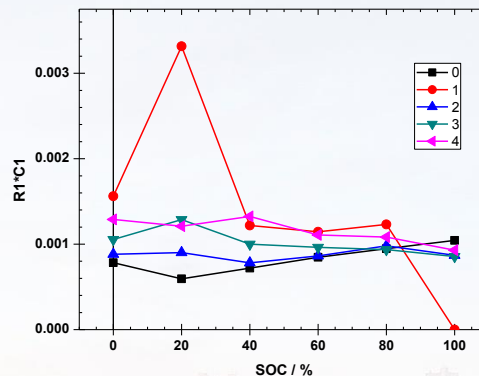




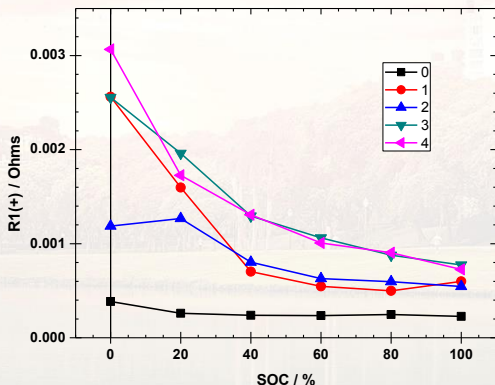
Exemplo de ajuste com os diferentes circuitos equivalentes propostos. Foi escolhida para este exemplo uma das medições de EIS realizada sobre a bateria de 50 Ah, com 100 % de carga e após o segundo envelhecimento.



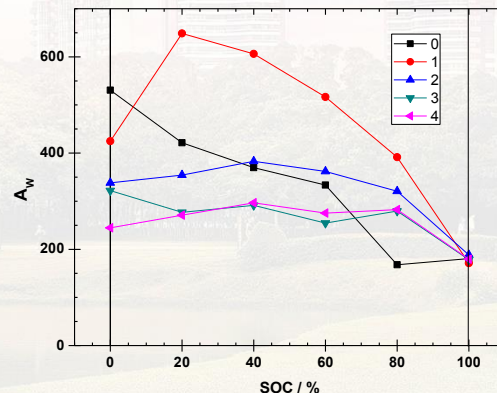
Variação da resistência interna da bateria com o envelhecimento e com o estado de carga



Variação do produto $R1 \cdot C1$ (parâmetros do primeiro semicírculo) com o envelhecimento e com o estado de carga



Variação da resistência $R1$ com o envelhecimento e com o estado de carga



Variação da constante de Warburg A_w com o envelhecimento e com o estado de carga

Equipamentos comerciais: usam principalmente R_i como critério de envelhecimento da bateria. Não parece ser completamente confiável, como já mostramos.

Nossas medições mostram que a resistência do primeiro semicírculo, a frequências médias, pode ser utilizado como critério para avaliar SOC e SOH.

O produto $R_1.C_1$ não é critério bom para nossas medidas (Hughes et al. 1985, Huet)

Os valores de impedância a $f < 0,1$ Hz são os que mostram maiores diferenças com diferentes SOC e SOH, já que nessas frequências aparecem as mudanças estruturais nos materiais das placas positivas e negativas ocasionadas pelo diferente estado de carga e estado de saúde. O problema é que podem ser demoradas.

Carlos M. Garcia
Thiago Manczak
Marcos Vinicio Haas Rambo
Patricio R. Impinnisi
Juliano de Andrade



(41) 3331-4780

(41) 3361-6266



(00) 99999-9999



carlos.garcia@copel.com



www.copel.com