



Figura 4.24: Mostradores do módulo controlador

Como carga do sistema, foram utilizados resistores de $2\Omega/300W$, mostrados na figura 4.25 e tendo como carga auxiliar resistores de valor igual à carga principal, conforme sugerido por PORTOLANN [1].



Figura 4.25: Cargas utilizadas nos testes

O módulo já montado em gabinete é apresentado na figura 4.26 mostrada a seguir:



Figura 4.26: Módulo controlador já montado em gabinete

4.12 Resumo do Capítulo

Neste capítulo apresentamos os sistemas eólico e fotovoltaico utilizados como referência na simulação computacional do processo e também os circuitos sensores implementados no projeto. Também mostramos o modelo do controle que monitora a carga e descarga do banco de baterias e também a forma como é feito o ajuste da tensão na carga principal (ou barramento principal) do sistema através da simulação e no modelo real.

Fazemos uma breve descrição do algoritmo utilizado para a maximização da potência nas fontes de energia e justificamos a escolha do microcontrolador utilizado.

Apresentamos os fluxogramas de controle do sistema e mostramos e descrevemos a modelagem do conversor e as partes do protótipo implementado em laboratório.

CAPÍTULO 5

Testes experimentais dos circuitos e software de controle

5.1 Introdução

No capítulo anterior, descrevemos a parte física, os circuitos de controle do módulo, e também mostramos o mesmo já fechado em gabinete. Neste capítulo, serão abordados os elementos que dizem respeito à interface do módulo de controle com o usuário, bem como será descrito o software executável que possibilita a aquisição das grandezas elétricas das fontes envolvidas no processo.

5.2 Representação do Sistema Híbrido

O sistema híbrido implementado no campus da UFSM foi simulado utilizando-se o software PSIM (Power Simulator) e está representado na figura 5.1, onde:

WES = Módulo de Geração Eólica;

PV = Módulo de Geração Fotovoltaica;

Bat. = Módulo Armazenador (Banco de Baterias).

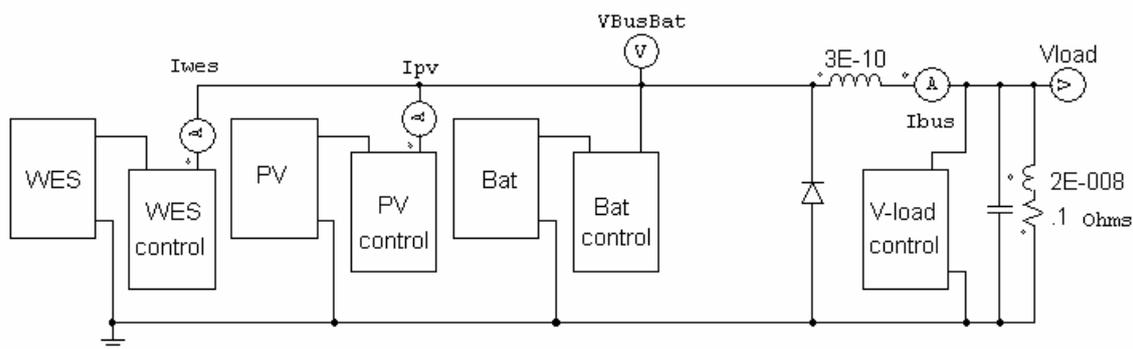


Figura 5.1: Representação do sistema híbrido

Cada módulo de geração e, também, o de armazenamento, tem seus respectivos controles atuando de forma independente. À direita do esquemático, tem-se a representação da carga principal, com seu respectivo controle de tensão. Cabe frisar que os desenvolvimentos de todos os controles foram implementados via software e posteriormente, montados e testados em laboratório conforme descrito no capítulo 5.

5.3 O Módulo Principal

5.3.1 Os mostradores frontais

O controle das fontes de energia feito por um dos microcontroladores faz com que sejam produzidos incrementos de corrente em cada fonte, alternadamente, de modo a alcançar o pico de potência disponível pelas referidas fontes. Ao mesmo tempo, o microcontrolador envia a um dos displays frontais disponíveis na carcaça do módulo, os valores de tensão, corrente e razão cíclica da modulação nas chaves de potência para que, mediante isso, se possa verificar o pleno funcionamento dos sensores de tensão e corrente de cada fonte, bem como o funcionamento do microcontrolador. Qualquer ausência de um ou vários sinais no display possibilitaria perceber-se o defeito em qualquer dessas partes.

No outro display, por intermédio do outro microcontrolador, é mostrado o valor da tensão na carga principal no banco de baterias, em ambas as fontes e também a razão cíclica da modulação no semiconductor em série com a carga auxiliar. A detecção dos defeitos pode ser feita também por eliminação das hipóteses, pois descartadas essas possibilidades, resta somente a etapa de potência de cada parte.

5.4 O Software de Aquisição e Análise dos Dados

Por se tratar de microcontroladores de última geração, os PIC18F452 dispõe de uma unidade de comunicação serial assíncrona que foi plenamente aproveitada para a aquisição dos dados processados, com o objetivo de análise gráfica e arquivamento dos valores relativos às potências produzidas pelas fontes primárias de energia. Para isso, desenvolveram-se dois softwares em LABVIEW executáveis, independentes um do outro. Como são processos distintos de controle, cada programa interage com cada microcontrolador individualmente, possibilitando o monitoramento visual através de interface gráfica, bem como permite a geração de arquivos de dados seqüenciais ou não.

A visualização das grandezas instantâneas é de grande utilidade pois na falha de qualquer dos displays, elimina-se em campo a possibilidade do mau funcionamento de qualquer dos módulos bastando interligar um cabo serial ao módulo de controle e qualquer computador portátil, bastando decidir qual processo se deseja monitorar e rodar o respectivo programa executável.

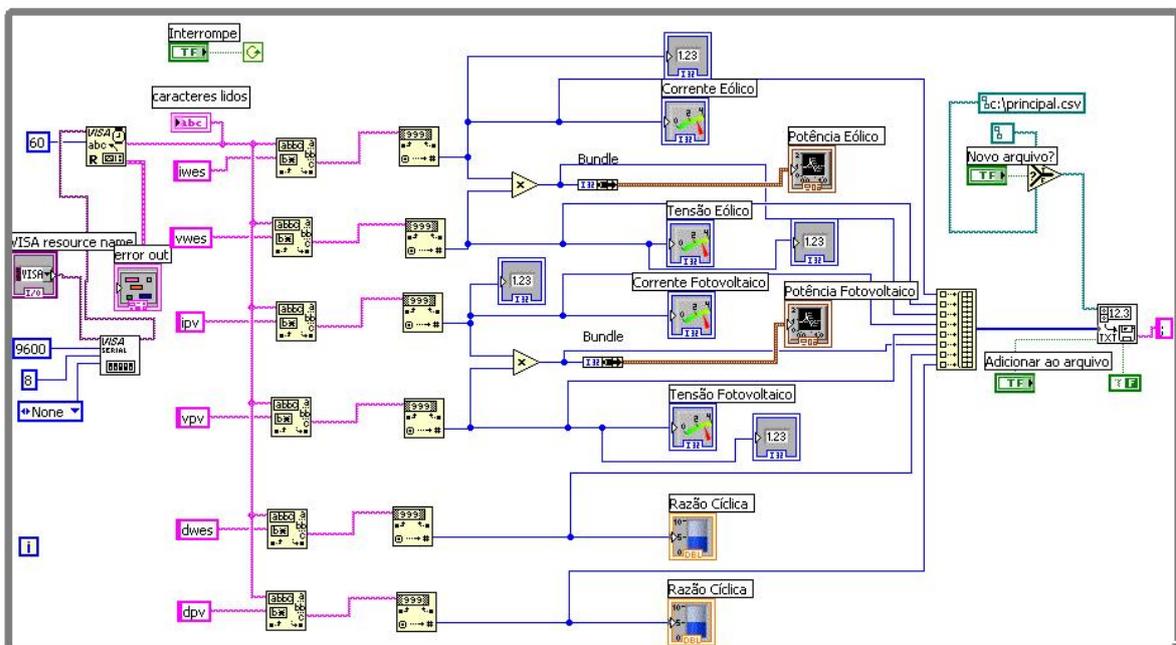


Figura 5.2: Diagrama do Controle das Fontes

Na figura 5.2 acima, está representado o diagrama seqüencial do programa executável utilizado para visualização e arquivamento dos dados produzidos pelo módulo de controle das fontes geradoras de energia e fornecidos por um dos microcontroladores.

Na figura 5.3 abaixo, podemos visualizar a interface gráfica produzida pelo diagrama anterior. Nela estão representadas as tensões e correntes das fontes através de mostradores numéricos e indicadores de ponteiros. Em forma de gráfico amplitude versus tempo, podemos visualizar as potências instantâneas. Também, para cada unidade de geração, um indicador de nível, com valor variável de zero a 100% mostra a razão cíclica da modulação no semicondutor que controla a potência produzida por aquela fonte.

Por intermédio de dois botões, temos a possibilidade de arquivar os dados para posterior análise, em arquivos seqüenciais ou não.

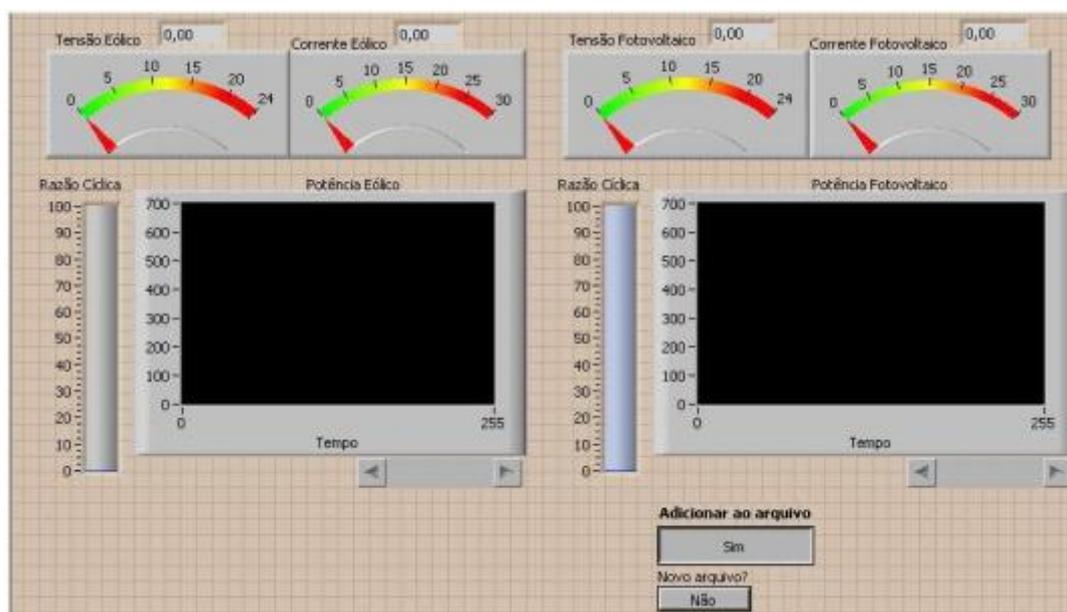


Figura 5.3: Interface Gráfica das Fontes

Todos os dados, após a etapa de se atribuir nome ao arquivo e definir-se a localização no disco, são arquivados de forma seqüencial, no formato separado por tabulações, podendo ser importados por qualquer planilha eletrônica, como está mostrado na figura 5.4. A seqüência apresentada pelas letras A, B, C e D é corrente,

tensão, potência e razão cíclica, respectivamente. Para a outra fonte, seguem-se as letras E, F, G e H do mesmo modo.

principal9Nov									
	A	B	C	D	E	F	G	H	
8505	2,17	9,85	21,375	99	1,055	9,38	46,364	78	
8506	2,17	10,25	22,243	100	1,061	9,373	46,597	79	
8507	2,08	10,5	21,84	100	1,04	9,38	45,694	80	
8508	2,19	11,025	24,145	99	1,067	9,373	46,865	79	
8509	2,23	9,675	21,575	98	1,061	9,387	46,667	78	
8510	2,15	11,225	24,134	99	1,058	9,38	46,498	79	
8511	2,13	10,7	22,791	100	1,058	9,359	46,394	78	

Figura 5.4: Dados Gerados pelo Programa de Aquisição

Como anteriormente, um outro “software” monitora as respectivas grandezas relativas ao processo cujos dados são enviados pelo outro microcontrolador. Esse diagrama seqüencial está mostrado na figura 5.5.

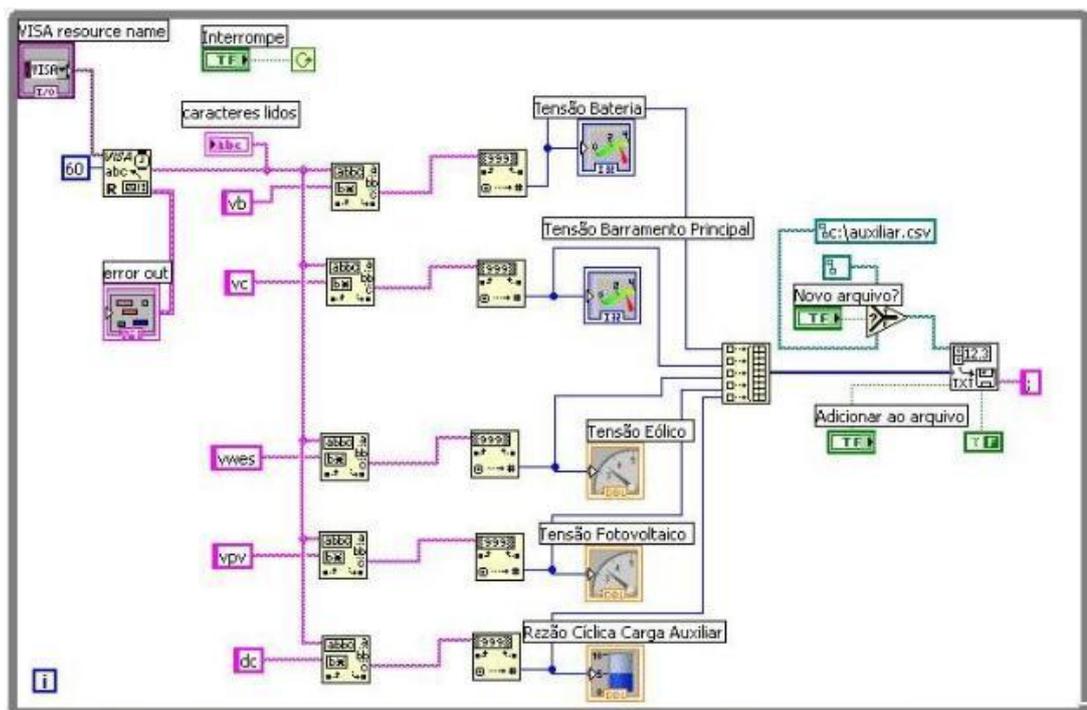


Figura 5.5: Diagrama de Controle da Bateria e Tensão da Carga

A interface principal desse programa apresentada na figura 5.6 mostra instantaneamente os valores de tensão no barramento principal, no banco de baterias,

em ambas as fontes, bem como a razão cíclica da modulação no semicondutor que controla o dreno de corrente pela carga auxiliar.

Também temos a possibilidade de armazenamento dos valores mostrados em um arquivo de dados para planilha eletrônica.

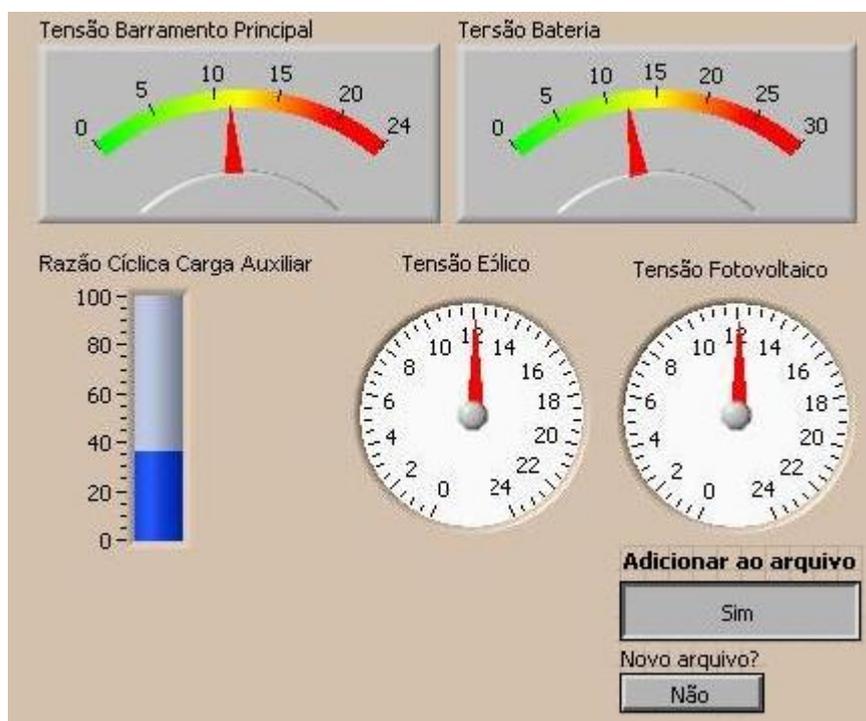


Figura 5.6: Interface da Carga das Baterias e Tensão Barramento Principal.

A figura 5.7 a seguir mostra os dados produzidos pelo programa. Os dados mostrados pelas letras A, B, C, D e E são, respectivamente, tensão da fonte 1, tensão da fonte 2, tensão do barramento, tensão nas baterias e razão cíclica da modulação no semicondutor em série com a carga auxiliar.

auxiliar13a-01					
	A	B	C	D	E
2138	13,398	10,716	11,72	12,52	78
2139	13,391	10,728	11,71	12,59	78
2140	13,391	10,752	11,72	12,6	78

Figura 5.7: Dados de tensão das fontes, barramento e baterias.

5.5 A Potência das Fontes

Para análise do método de geração de máxima potência pelas fontes, utilizou-se o seguinte método. Fixou-se a tensão da fonte em um determinado valor, ligando-se a seguir o módulo de controle. O resultado obtido foi graficado e está mostrado na figura 5.8.

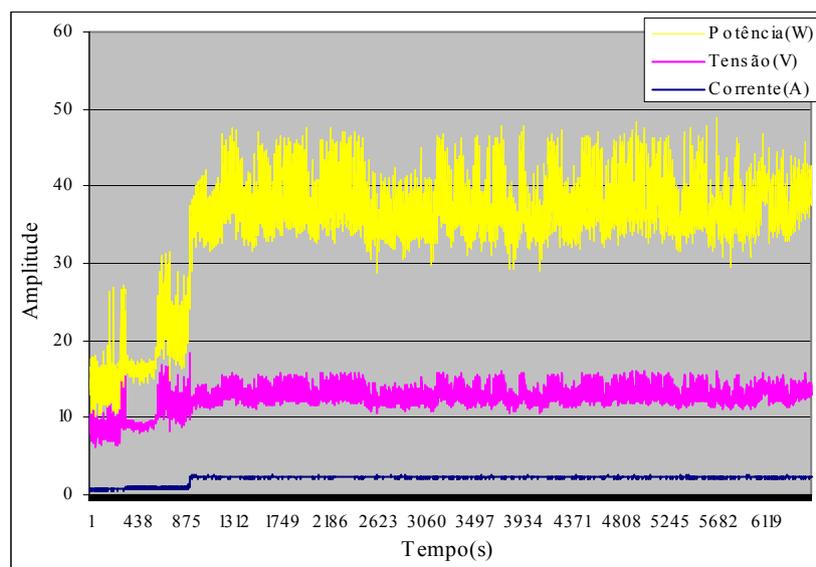


Figura 5.8: Análise de funcionamento das fontes.

Observa-se claramente que a corrente gradativamente cresce até o valor nominal que depende do valor da resistência de carga. Este teste foi efetuado para ambas as fontes, onde foi obtido resultado semelhante. Para uma análise mais criteriosa, já que a corrente de máxima potência produzida pela fonte depende da razão cíclica da modulação no semicondutor em série com essa fonte, mostramos na figura 5.9 o comportamento da razão cíclica desse chaveamento é controlado de modo a alcançar o ponto de corrente máxima para a respectiva potência máxima da fonte.

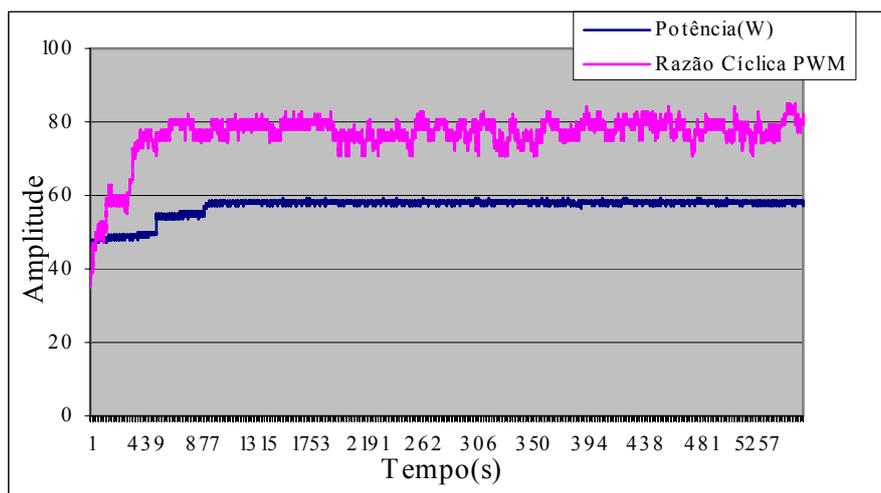


Figura 5.9: Potência máxima e modulação.

No gráfico da figura 5.10, podemos ver claramente o ajuste gradual da potência, mediante o ajuste da corrente, mantida a tensão constante. O que comprova o funcionamento do algoritmo “Hill Climbing Control”.

O tratamento de fontes alternativas de energia como fontes de correntes distintas, é comprovado na figura 5.10, onde se observa que o valor da tensão nas fontes mantém-se próximo ao valor da tensão na carga principal. Como os sensores de tensão estão ligados diretamente nas fontes, qualquer discrepância entre os valores instantâneos de tensão, está relacionada à queda de tensão sobre o semicondutor em série com cada fonte, e que estão diretamente relacionados com a corrente drenada pela mesma.

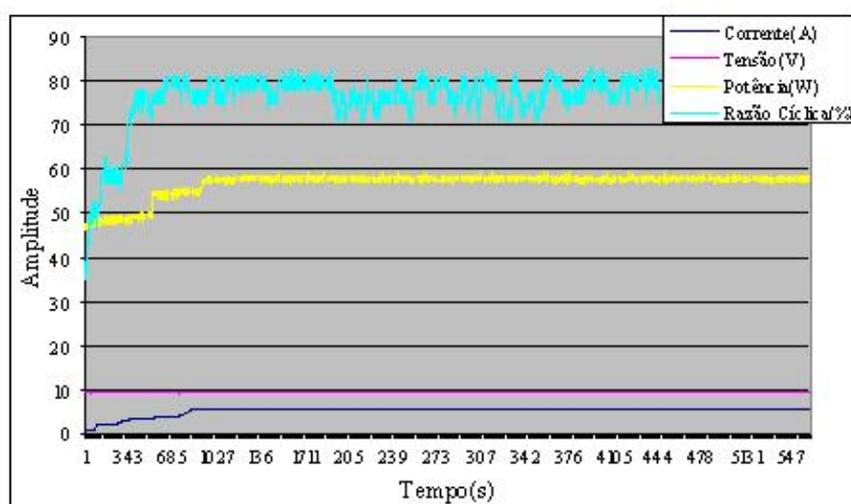


Figura 5.10: O HCC no Gerador Eólico.

Nenhuma fonte pode fazer circular corrente sobre a outra, pois existe a barreira imposta pelos diodos em série com as mesmas, antes do barramento principal. Portanto, para uma mesma tensão sobre as fontes, que é fixada pelo ajuste de tensão na carga principal, o algoritmo de controle ajusta independentemente a corrente em cada uma das fontes. Isso é claramente mostrado na figura 5.11 a seguir.

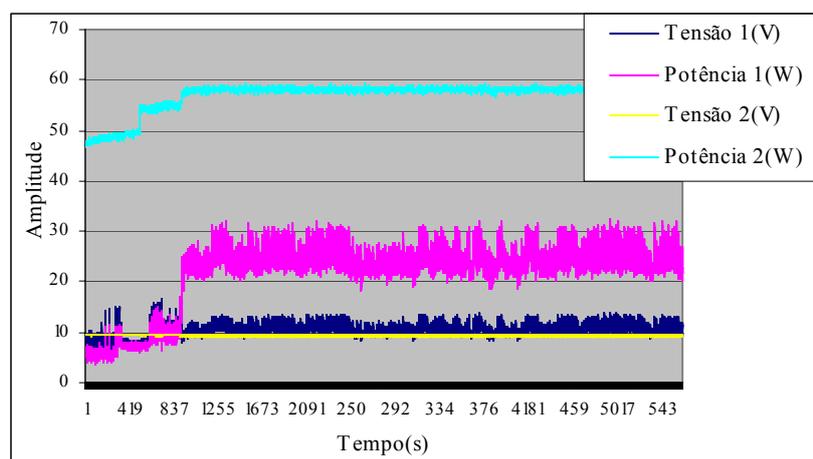


Figura 5.11: Tensões e Potências das fontes.

5.6 A Regulagem da Tensão na Carga

Como foi dito antes, conforme a lei de ohm, a resistências internas dos semicondutores associadas às correntes drenadas, produzem quedas de tensão diferentes. Como os sensores de tensão das fontes estão conectados antes desses semicondutores, os valores de tensão apresentados serão diferentes, mas a tendência é que os valores se aproximem do valor da tensão no barramento. O gráfico mostrado na figura 5.12 nos mostra os valores indicados nesses sensores, comprovando a convergência do valor da tensão nominal da carga, que pode ser especificado previamente.

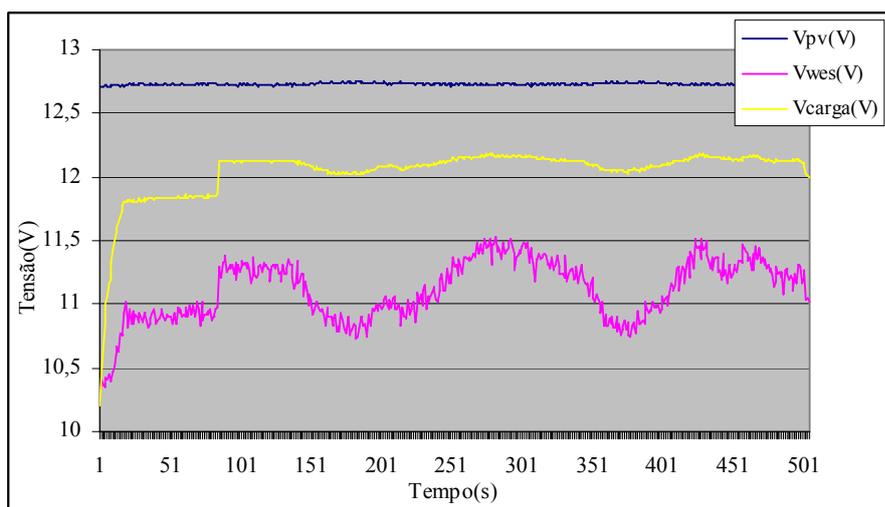


Figura 5.12: Ajuste de tensão na carga.

Para qualquer variação na resistência da carga principal, ocorre um desvio proporcional de corrente pela carga auxiliar, de modo que a tensão no barramento seja mantida no valor nominal. O programa utiliza uma lógica simples: Se a tensão no barramento está acima do valor nominal, incrementa-se proporcionalmente a razão cíclica da modulação no semiconductor em série com a carga auxiliar, fazendo com que diminua a corrente no ramo principal, e com isso a tensão sobre a carga principal diminui. Se a tensão estiver com valor abaixo do valor nominal, diminui-se a razão cíclica da modulação, conseqüentemente a corrente no ramo principal aumenta.

Na figura 5.13, a partir da chegada do valor da tensão da carga principal no valor nominal, promoveram-se alterações sucessivas no valor da resistência da carga principal observando-se alterações instantâneas na modulação da corrente da carga secundária, sem que a tensão da carga se alterasse.

Como as fontes em um sistema real deverão ser dimensionadas em função da carga principal, em nenhum momento a potência produzida pela natureza será desperdiçada, pois isso acarretaria uma baixa regulação da tensão no barramento.

O ajuste de tensão só existirá mediante a existência de tensão acima do valor nominal definido para a carga em questão. Em caso contrário, se nenhuma das fontes dispuser de potência suficiente, o que será indicado pelos medidores de tensão, o banco de baterias suprirá a energia necessária dentro de sua capacidade, onde será descarregado até seu limite mínimo de tensão. Nessa etapa, a carga auxiliar é desconectada do sistema pelo desligamento do seu respectivo semiconductor.

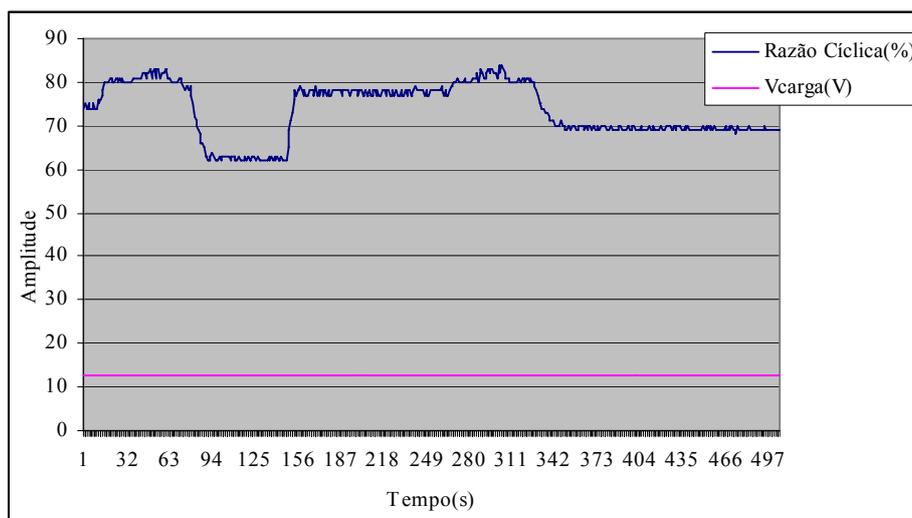


Figura 5.13: Ajuste de resistência de carga.

5.7 Resumo do Capítulo

Neste capítulo, inicialmente representamos o sistema híbrido implementado no campus da UFSM, bem como o seu funcionamento.

Descrevemos o software de interface visual e aquisição de dados da geração, controle da carga e suprimento de energia, assim como apresentamos o resultado do módulo em funcionamento, onde, a partir de resultados gráficos, fazemos a análise dos mesmos.