

### 6.2.1 Medição da tensão individual de cada célula

Para fazer a medição da tensão individual de cada célula usa-se apenas uma entrada do microcontrolador, portanto é necessária uma placa auxiliar para selecionar uma única célula por vez. O circuito que faz a seleção baseia-se em dois multiplexadores (CD4051). Como a tensão de modo-comum de um multiplexador é no máximo de 44V, a pilha é separada em grupos de oito células, ou seja, oito células por dupla de multiplexadores. Para o caso da pilha trabalhada nesta dissertação que é composta de 32 células, serão necessários quatro duplas de multiplexadores, e cada grupo necessita de uma fonte de alimentação independente.

A Figura 6.8 mostra o esquema do circuito de seleção de células do último grupo, ou seja, a seleção para a célula 25 a 32. Onde o circuito é formado por dois multiplexadores e um opto-acoplador. Blocos iguais a esses são instalados nos três grupos anteriores. A segunda parte do circuito formado por resistores e amplificadores operacionais são comum a todos os blocos e responsável pelo ganho e somatório das tensões de todos os quatro blocos.

Quando é gerado o código de seleção da célula cuja tensão será lida, um multiplexador (Mux P) habilita o pólo positivo da célula e o outro (Mux N), o pólo negativo. Estas tensões de saída são diferenciadas pelo opto-acoplador diferencial (iso122). Após essa etapa, os grupos são adicionados em um somador, onde sempre a tensão nos demais três grupos estará zerada, pois estarão desabilitados através de um comando de "enable".

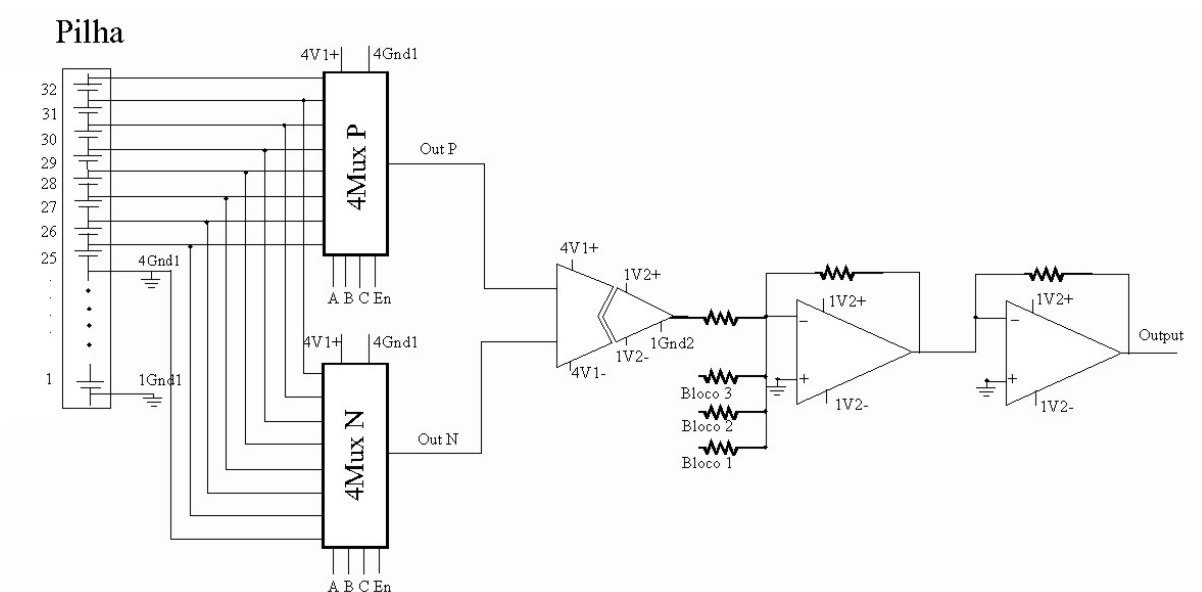


Figura 6.8 – Circuito para medição da tensão individual de cada célula.

As chaves seletoras (A, B, C) são ligadas em paralelo, ou seja, quando o microcontrolador seleciona um determinado código, são selecionadas quatro células da pilha (uma por bloco), porém a seleção do “enable” habilita o bloco em que a célula em questão está localizada. Desta forma, é adquirido o valor de somente uma pilha, garantindo uma resolução maior que o circuito descrito por [12], e assim permitindo o uso de um conversor AD de menor resolução.

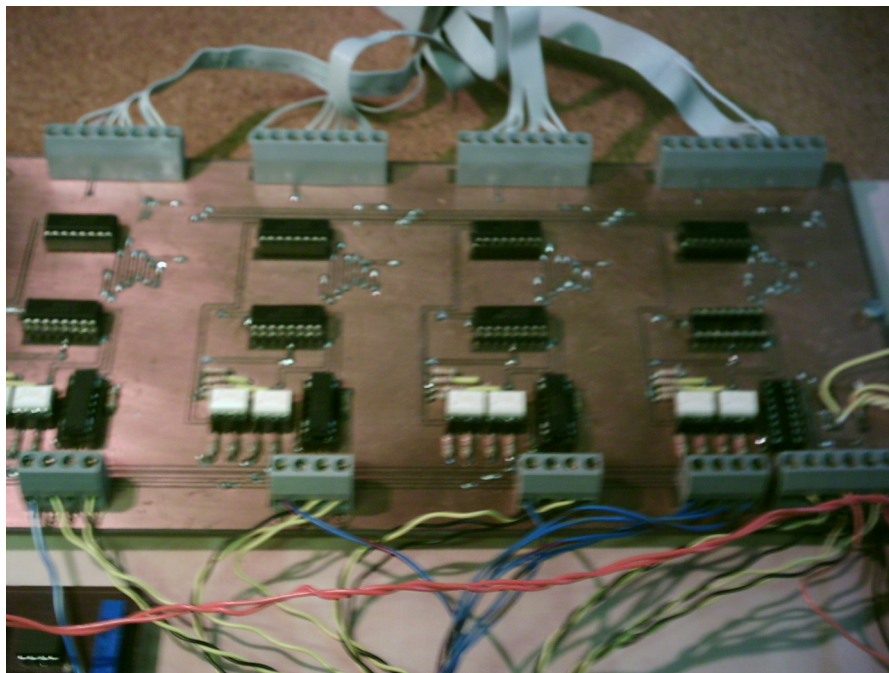


Figura 6.9 – Foto do circuito de medição da tensão individual de cada célula.

Para a seleção da medição de cada célula, é usado um código de sete bits, três para fazer a seleção dos canais dos multiplexadores e os outros quatro bits para selecionar os blocos de células, os quais são isolados através do opto-acoplador TLP521-2. A Tabela 6.1 mostra o código binário para a seleção de cada célula, bem como cada código decimal correspondente. Estes códigos de seleção são enviados diretamente para a porta “D” do microcontrolador à qual estão conectados os canais de seleção dos multiplexadores, facilitando assim o processo de automação. Os códigos são gerados conforme as fórmulas da Tabela 6.2.

Bloco	Célula	EN1 (mux1)	EN2 (mux2)	EN3 (mux3)	EN4 (mux4)	C	B	A	Código decimal
1	1	0	1	1	1	0	0	0	56
	2	0	1	1	1	0	0	1	57
	3	0	1	1	1	0	1	0	58
	4	0	1	1	1	0	1	1	59
	5	0	1	1	1	1	0	0	60
	6	0	1	1	1	1	0	1	61
	7	0	1	1	1	1	1	0	62
	8	0	1	1	1	1	1	1	63
2	9	1	0	1	1	0	0	0	88
	10	1	0	1	1	0	0	1	89
	11	1	0	1	1	0	1	0	90
	12	1	0	1	1	0	1	1	91
	13	1	0	1	1	1	0	0	92
	14	1	0	1	1	1	0	1	93
	15	1	0	1	1	1	1	0	94
	16	1	0	1	1	1	1	1	95
3	17	1	1	0	1	0	0	0	104
	18	1	1	0	1	0	0	1	105
	19	1	1	0	1	0	1	0	106
	20	1	1	0	1	0	1	1	107
	21	1	1	0	1	1	0	0	108
	22	1	1	0	1	1	0	1	109
	23	1	1	0	1	1	1	0	110
	24	1	1	0	1	1	1	1	111
4	25	1	1	1	0	0	0	0	112
	26	1	1	1	0	0	0	1	113
	27	1	1	1	0	0	1	0	114
	28	1	1	1	0	0	1	1	115
	29	1	1	1	0	1	0	0	116
	30	1	1	1	0	1	0	1	117
	31	1	1	1	0	1	1	0	118
	32	1	1	1	0	1	1	1	119

Tabela 6.1 – Tabela verdade da seleção das células para medição.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3 e 4
Código = N° Cel + 55	Código = N° Cel + 79	Código = N° Cel + 87

Tabela 6.2 – Fórmula para obter o código de seleção para medição da tensão individual das células.

### 6.2.2 Seleção para o chaveamento das células

O circuito de chaveamento consiste em estabelecer um curto circuito em duas células consecutivas através de uma chave eletrônica (Mosfet IRFZ44) cujo gatilho é acionado através de um optoacoplador (TLP521-2) selecionado pelo demultiplexador (CD4051). Em paralelo ao Mosfet é adicionado de um diodo Schottky com tensão reversa de 0,3 V que vai assumir a corrente da pilha quando um conjunto de células for chaveado.

Cada conjunto de oito células possui uma fonte e um ponto de terra independentes, ver Figura 6.10. Neste caso o caminho da corrente de acionamento percorre no máximo quatro células até chegar ao terminal de terra, tendo assim uma pequena queda de tensão. Caso, uma mesma fonte envolvesse mais células, isto aumentaria a queda de tensão, comprometendo seu acionamento.

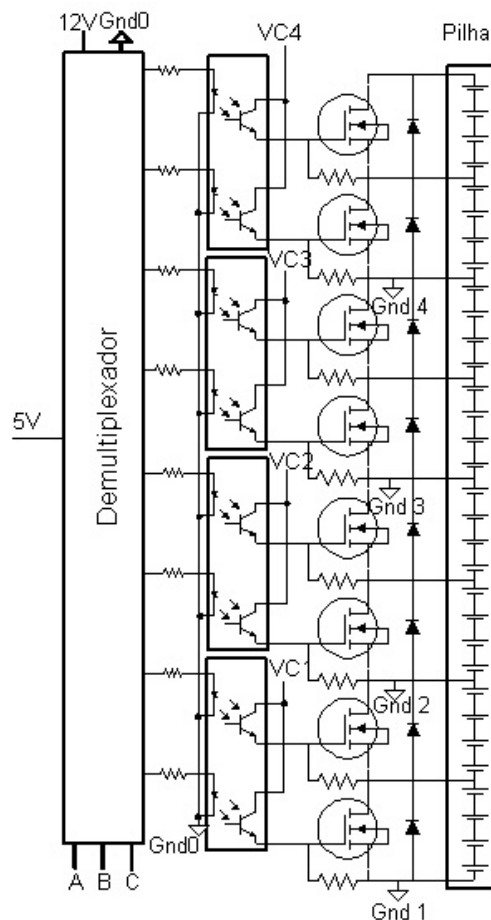


Figura 6.10 – Esquema do circuito de seleção para o chaveamento do conjunto de células.

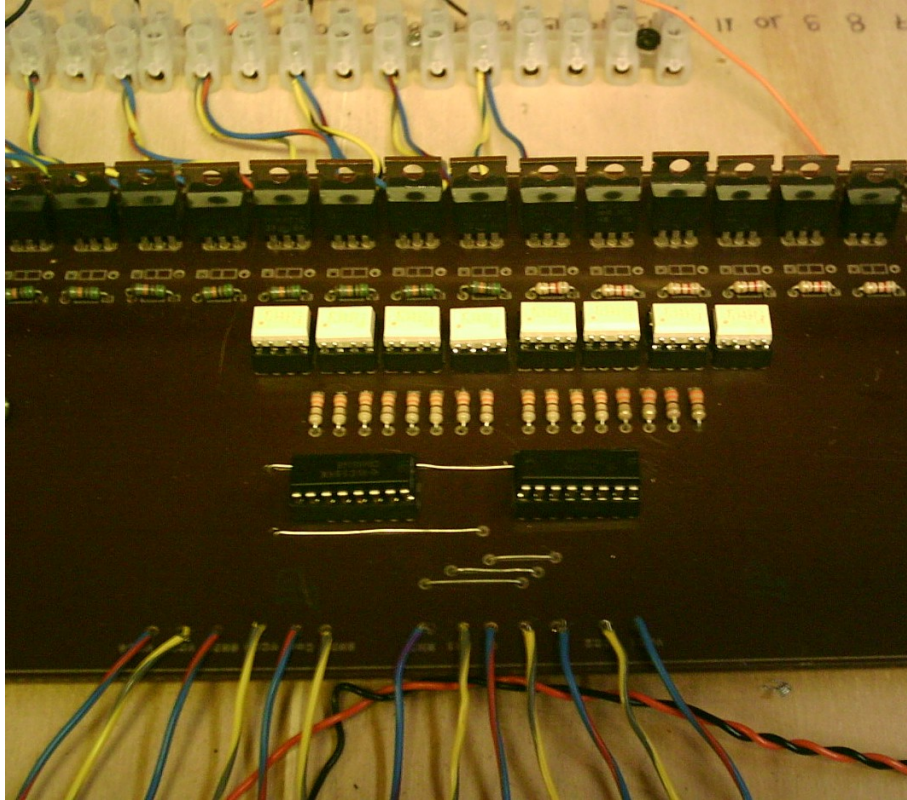


Figura 6.11 – Foto da placa do circuito de seleção para o chaveamento do conjunto de células.

Analogamente a medição da tensão individual, o sistema de seleção do chaveamento possui um código binário que define o conjunto de células a ser chaveado, para o qual são necessários apenas 3 bits. Na Tabela 6.3, estão especificados esses códigos de seleção.

Células	C	B	A	Código decimal
1-4	0	0	0	0
5-8	0	0	1	1
9-12	0	1	0	2
13-16	0	1	1	3
14-20	1	0	0	4
21-24	1	0	1	5
25-28	1	1	0	6
29-32	1	1	1	7

Tabela 6.3 – Tabela verdade para seleção das células para chaveamento.

Como já foi comentado, se a medição de tensão detectar uma célula fora da operação normal, será feito um curto-circuito nos terminais desta célula. Para isso, é necessário

identificar a célula com problemas e gerar o código correspondente. Este código será colocado diretamente na porta “B” do microcontrolador que selecionará o canal do demultiplexador que curto-circuitará o bloco do qual a célula faz parte. A geração do código segue a determinação da Equação 6.1.

$$\text{Código}=\text{Inteiro}[(N^{\circ}\text{ Cel}-1)/4] \quad (6.1)$$

### 6.2.3 Circuitos de medição

Os monitoramentos da temperatura e da umidade relativa são realizados através do sensor da Novus, que fornece uma corrente de 0 a 20mA que corresponde à uma temperatura entre 0 e 100°C e umidade relativa 0 e 100%, respectivamente. Este sinal de corrente é convertido em sinal de tensão através de um amplificador diferencial.

A medida da corrente da pilha é feita através de um sensor de efeito hall, modelo SECOHR 25 CI, de fabricação da Secon para corrente nominal de 25 A e com razão de medida de 1:1000 o qual alimenta um resistor de precisão de 100Ω, convertendo assim o sinal de corrente em tensão.

### 6.2.4 Circuitos dos atuadores

Estes circuitos atuam diretamente no acionamento dos dispositivos de controle da célula, ou seja, são responsáveis pela abertura da válvula e acionamento dos motores. A bomba de injeção do ar de reação e os ventiladores de refrigeração possuem suas velocidades controladas por PWM, já a bomba d’água para refrigeração possui apenas dois estados, ou ligado ou desligado. Estes três dispositivos são controlados por um Mosfet (IRFZ44), onde o sinal advindo do microcontrolador é isolado por um opto-acoplador TLP-521-2.

Para ligar e desligar a válvula solenóide e a resistência para o aquecimento usa-se o relé modelo MS12-10 com tensão de comando em 12V. Esses dispositivos são alimentados em 220V.

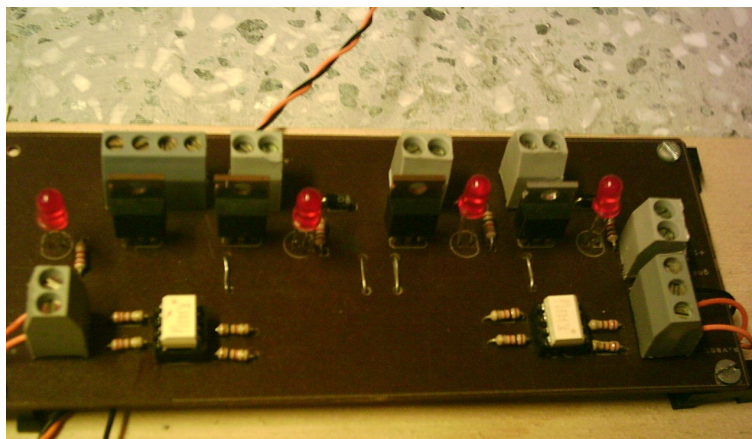


Figura 6.12 – Foto do circuito para o acionamento das cargas.

### 6.3 Fluxogramas

Para o controle das grandezas, são utilizados dois microcontroladores da família PIC 18F. O primeiro microcontrolador, aqui chamado de primário, fica responsável pelo controle das grandezas fundamentais para o funcionamento da célula, ou seja, faz o controle de abertura da válvula do hidrogênio, controle do ar de reação, da temperatura e da umidade relativa. Já o segundo microcontrolador, chamado de secundário, faz a medição individual de cada célula e, também, os chaveamentos das células, quando necessários. No que se refere à capacidade de processamento e tamanho de memória, um microcontrolador poderia ser suficiente, porém ficaria limitado no número de saídas e entradas. O uso de dois microcontroladores facilita também o processo uma vez que a medição e o controle da tensão individual de cada célula usam um certo tempo que poderia ocasionar ineficiência do controle para outras grandezas mais importantes como a temperatura e umidade. Pela maneira com que foi dividido o programa, um microcontrolador controla apenas as grandezas fundamentais e com controle relativamente rápido em comparação ao controle do segundo microcontrolador.

A seguir serão analisados os fluxogramas usados para todo o controle desenvolvido para a pilha e no Apêndice A se encontra o programa em linguagem C desenvolvido para tal automação.

### 6.3.1 Fluxograma do controlador principal

O controle da pilha, conforme a Figura 6.13, inicia-se pela abertura do gás hidrogênio através da válvula solenóide. Logo após, é feita a injeção do ar de reação através das bombas que possuem controle de fluxo, inicialmente injetando ar com estequiometria igual a dois, relativo à potência máxima da pilha que é de 500 W. Neste ponto é aguardado o sinal do secundário indicando que a pilha está apta a receber carga segundo sua temperatura. Este processo desenvolvido pelo controlador secundário será analisado na próxima subseção. Após o recebimento desse sinal é acionada a carga e o programa entra em um laço que controlará apenas a umidade e a temperatura, além de analisar um segundo sinal do microcontrolador secundário que finaliza o processo caso encontre alguma inconformidade no sistema.

Com a carga acionada são feitas as leituras de corrente, umidade relativa e, ainda, calcula-se a estequiometria através da razão de trabalho da bomba de ar. Se a umidade relativa estiver abaixo de 85% e a estequiometria maior que 2, diminui-se a velocidade da bomba. Se a umidade estiver entre 85 % e 95% e estequiometria maior que 2, mantém-se a velocidade. Porém, se a umidade estiver abaixo de 85% e a estequiometria menor que 2, não é possível fazer o controle e é desligado o sistema, caso contrário, aumenta-se a velocidade da bomba de ar.

Após o controle da umidade passa-se ao controle da temperatura, que é realizado em dois intervalos. Se a temperatura estiver entre 50 a 60°C, os ventiladores deverão ter a largura de pulso do PWM que os aciona proporcional à temperatura. Quando estiver entre 60 a 65°C, os ventiladores estarão na velocidade máxima e será ligada a água de refrigeração. Porém, se a temperatura não estiver em nenhum desses intervalos, ou seja, maior que 65°C, são desligados a carga e os gases de alimentação e mantidos a água e os ventiladores ligados até que temperatura atinja valores abaixo de 65°C. Haverá uma indicação no painel de que esta situação anômala ocorreu e assim sejam tomadas as providências cabíveis.

Quando o controle da temperatura for finalizado, retorna-se ao início do programa onde são feitas novas leituras de corrente e, assim, as ações são repetidas ciclicamente.



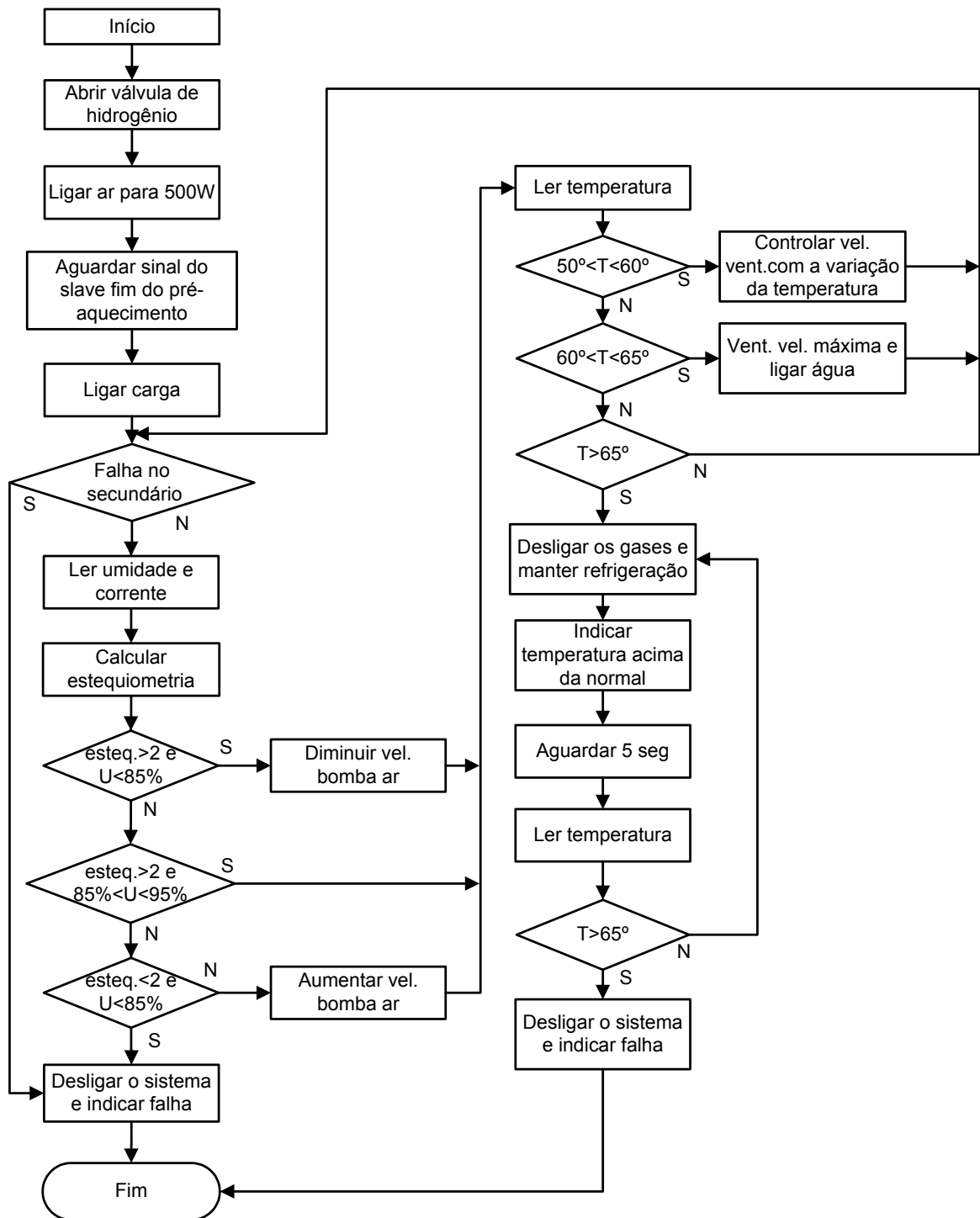


Figura 6.13 – Fluxograma do controlador primário.

### 6.3.2 Fluxograma do controlador secundário

O controlador secundário, ver Figura 6.14, mede a temperatura e se estiver abaixo de 15 °C, é acionado o resistor de aquecimento, aguarda-se um tempo de 10 segundos e mede-se a temperatura novamente. Se a temperatura for agora maior que os 15° C, porém menor que

30° C, chama-se a sub-rotina de chaveamento. Essa sub-rotina fica acionada até que a temperatura atinja a temperatura de 30°C, porém deve haver um tempo de 40 segundos entre o acionamento de um chaveamento e o outro.

Para uma temperatura maior que 30°C envia-se um sinal para o controlador primário ligar a carga e iniciar o processo. Enquanto isso, o controlador secundário opera em laço fechado que faz somente a medição da tensão individual das células e o chaveamento cíclico. O chaveamento cíclico é feito de três em três minutos ou mais.

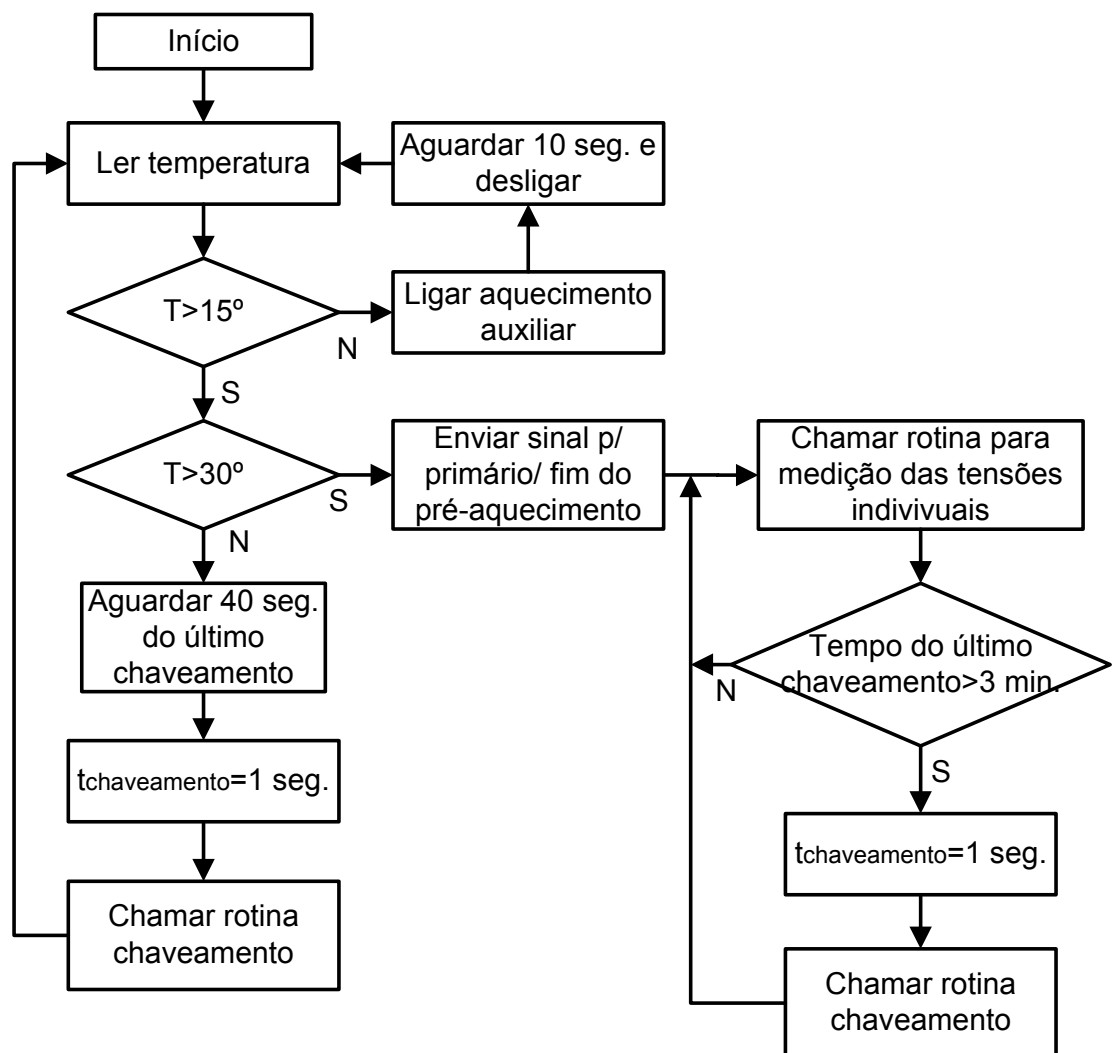


Figura 6.14 – Fluxograma do controlador secundário.

Quando a sub-rotina de medição individual das células for chamada, ver Figura 6.15, um conjunto de células é selecionado através dos multiplexadores, e adquirido o valor da tensão. Se essa tensão for menor que 0,3 V ou maior que 1,3 V, a célula é desabilitada. Porém, se a tensão estiver no intervalo citado, mas o valor de tensão for menor que 0,5 V,

fazem-se 12 chaveamentos no conjunto de células em que a célula problemática pertence, com intervalos de 5 segundos cada. Após isso, retorna-se ao início da sub-rotina dando continuidade a medição.

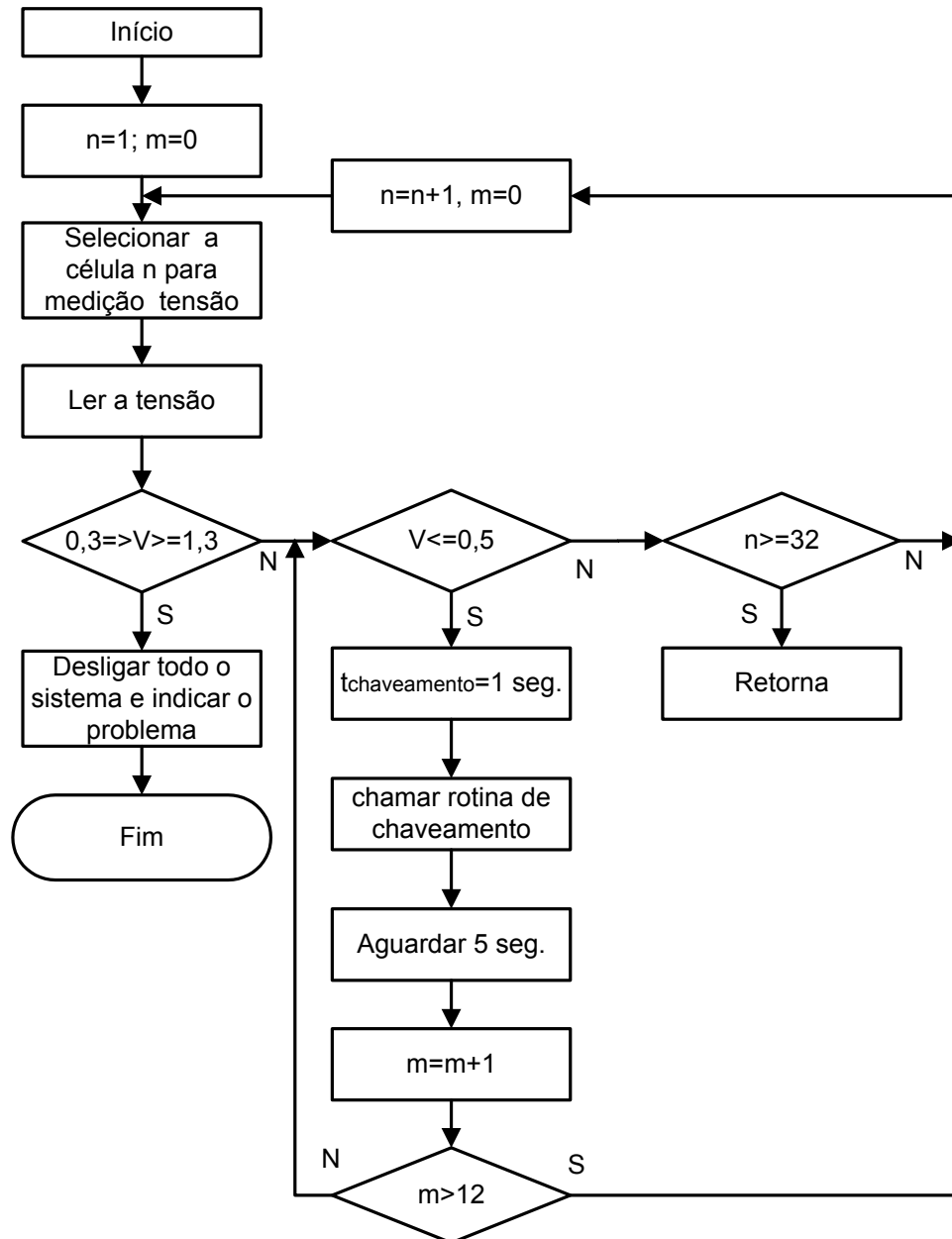


Figura 6.15 – Sub-rotina para medição e controle da tensão individual de cada célula.

Quando a sub-rotina de chaveamento é chamada na rotina do secundário, ver Figura 6.16, são selecionadas as quatro primeiras células e realiza-se os chaveamentos até o tempo selecionado. A partir daí, são selecionadas as próximas células, até quando o número de

conjuntos de células for igual a 8, quando se retorna para a rotina principal do secundário, pois já foram realizados os chaveamentos em todas as células.



Figura 6.16 – Sub-rotina para o controle do chaveamento nas células.

## 6.4 Considerações finais

Este capítulo discutiu as bases experimentais e de implementação de todas as etapas do projeto e instalação típicos de pequenos protótipos de geração de energia com células de combustível do tipo PEM. Nesta discussão, foram especificados os mecanismos utilizados para o controle das grandezas, assim como as placas de circuito utilizadas no interfaceamento com o microcontrolador.

Além dos dispositivos de controle foram detalhadas também os ambientes das salas necessárias para operação da pilha com os itens de segurança para a manipulação do hidrogênio. E, finalmente, foram apresentados e comentados os fluxogramas do algoritmo de controle para a automação interna da pilha de células de combustível.

No próximo capítulo serão demonstrados e comentados os resultados obtidos através do ensaio dos controles descritos neste capítulo.

## CAPÍTULO 7

**RESULTADOS PRÁTICOS**

---

Os módulos e circuitos desenvolvidos para operação da pilha de células de combustível do tipo PEM usada como exemplo nesta dissertação para estabelecimento das bases experimentais do projeto, automação e instalação de sistemas de geração de energia foram inicialmente testados em bancada. Tanto os equipamentos como os algoritmos para esta operação devem assegurar quanto a um funcionamento suficientemente confiável uma vez que a pilha possui alto valor econômico e por usar hidrogênio, combustível que deve ser manuseado com extremo cuidado.

Para verificar o comportamento do controle em cada atuação, medição ou cálculo das variáveis, as instruções executadas pelo controlador são escritas na porta de comunicação que está conectada ao computador através da porta serial. Esses dados são capturados com o auxílio do software “Advanced Serial Data Logger” e analisados abaixo, onde as frases em itálico são mensagens escritas pelo microcontrolador que pode informar os eventos realizados, medidos ou calculados.

Primeiramente será analisado o programa do controlador primário que é responsável pela abertura dos gases e pelo controle da umidade e temperatura da pilha. Neste teste, buscou-se mostrar o comportamento do controle devido à variação da umidade para uma dada temperatura constante.

O programa principal inicia acionando a válvula de hidrogênio e a bomba de injeção de ar.

*liga hidrogenio*  
*liga ar*

Recebe sinal do secundário que a temperatura é maior que 30°C.

*temperatura 44.03*  
*temperatura >30*

Então é acionada a carga e inicia-se o controle da umidade e temperatura. Sendo inicialmente a estequiometria maior que dois e a umidade maior que 95%, o PWM da bomba

de ar é incrementado. Após este incremento o controle passa a controlar a temperatura na qual nada é feito, pois ela está dentro da normalidade.

*pwm1*  
*estequiometria 12.17 corrente 27.80*  
*controle pwm umidade pwm 86 umidade 95.29*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 43.96*

Neste momento a estequiometria manteve-se constante e a umidade entrou no intervalo entre 85% e 95%, então a largura de pulso do PWM da bomba não é alterada.

*pwm1*  
*estequiometria 12.16 corrente 27.78*  
*controle pwm umidade pwm 86 umidade 86.98*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 43.98*

A umidade caiu para 74 %, ou seja, abaixo da faixa ideal de operação, o controlador então, decrementa o PWM da bomba de ar.

*pwm1*  
*estequiometria 12.16 corrente 27.79*  
*controle pwm umidade pwm 85 umidade 74.06*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.2*

*pwm1*  
*estequiometria 12.13 corrente 27.71*  
*controle pwm umidade pwm 84 umidade 73.96*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.21*

*pwm1*  
*estequiometria 12.16 corrente 27.78*  
*controle pwm umidade pwm 83 umidade 73.88*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 43.91*

Com o decremento do PWM da bomba de ar há uma diminuição da quantidade de ar dentro da célula, ou seja, a estequiometria cai.

*pwm1*  
*estequiometria 10.92 corrente 27.72*  
*controle pwm umidade pwm 82 umidade 74.60*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.17*

*pwm1*  
*estequiometria 10.95 corrente 27.78*  
*controle pwm umidade pwm 81 umidade 80.49*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.31*

A umidade entrou no intervalo ideal entre 85% e 95%, então a largura de pulso do PWM é mantida.

*pwm1*  
*estequiometria 10.95 corrente 27.79*  
*controle pwm umidade pwm 81 umidade 85.24*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.01*

*pwm1*  
*estequiometria 10.92 corrente 27.71*  
*controle pwm umidade pwm 81 umidade 88.06*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.24*

*pwm1*  
*estequiometria 10.97 corrente 27.85*  
*controle pwm umidade pwm 81 umidade 87.90*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.30*

Agora a umidade possui um valor acima de 95%, então a velocidade da bomba é acrescida através do aumento da razão de trabalho.

*pwm1*  
*estequiometria 10.93 corrente 27.74*  
*controle pwm umidade pwm 82 umidade 98.67*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 43.88*

*pwm1*  
*estequiometria 10.96 corrente 27.82*  
*controle pwm umidade pwm 83 umidade 99.08*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.35*



*pwm1*  
*estequiometria 10.95 corrente 27.80*  
*controle pwm umidade pwm 84 umidade 99.13*  
*controle da bomba do ar*  
*temperatura 44.31*

Percebe-se que o controle segue exatamente as informações descritas nos fluxogramas do capítulo anterior, ou seja, com a estequiometria maior que dois e com a umidade maior que 95%, o controle aumentou a largura de pulso do PWM fazendo com que mais ar fosse inserido na pilha e assim diminuindo a umidade. Quando a umidade manteve-se entre 85% e 95%, que é a melhor faixa para operação, o ciclo de trabalho foi mantido. No momento em que a umidade caiu abaixo de 85% o controle diminuiu o ciclo de trabalho fazendo com que menos ar entrasse na célula e conseqüentemente aumentando a umidade.

Para melhor observar o comportamento do PWM da bomba de ar com a variação da umidade, foi plotada com dados das mensagens das etapas acima em um gráfico, ver Figura 7.1.

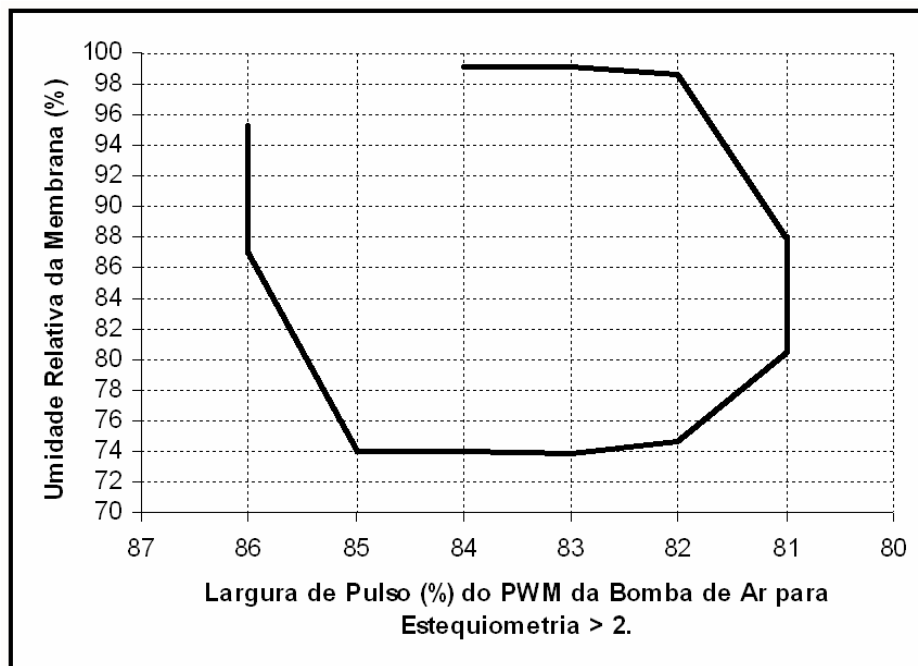


Figura 7.1 – Comportamento do PWM da bomba de ar para variação da umidade relativa.

A seguir serão analisadas as informações do programa do controlador secundário. O objetivo é verificar o comportamento do programa durante a fase de pré-aquecimento e na

medição da tensão individual de cada célula. Para isso simulou-se que a temperatura da pilha inicia abaixo da temperatura de operação (30°C).

O programa do controlador secundário é iniciado fazendo o teste da temperatura e constatando que está abaixo dos 15°C. Neste momento é acionada a resistência para aquecimento do ar de reação a qual é mantida até os 15°C.

*testa temperatura 12.90  
temperatura 12.91 <15  
temperatura 12.97 <15  
temperatura 13.04 <15*

Com a temperatura entre 15° e 30°C, o pré-aquecimento passa a ser feito através do chaveamento efetuado em todos os oito blocos de células.

*temperatura 25.20 >15  
temperatura entre 15 e 30  
bypass celula 0 em B  
bypass celula 1 em B  
bypass celula 2 em B  
bypass celula 3 em B  
bypass celula 4 em B  
bypass celula 5 em B  
bypass celula 6 em B  
bypass celula 7 em B  
faz todas DESLIGADO*

A temperatura atingiu valores acima de 30°C, então o pré-aquecimento é finalizado e indicado ao microcontrolador primário o fim desse evento.

*testa temperatura concluído  
hablita interrupções*

Com o fim do pré-aquecimento se dá início à medição da tensão individual em cada célula. Abaixo estão escritas as informações das tensões medidas, dos códigos de seleção e a ordem de cada célula na pilha.

*v .65 codigo 56 qual\_celula 1  
tensao .65  
v .65 codigo 57 qual\_celula 2  
tensao .65  
v .65 codigo 58 qual\_celula 3  
tensao .65  
v .65 codigo 59 qual\_celula 4  
tensao .65*

v .65 *codigo 60 qual\_celula 5*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 61 qual\_celula 6*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 62 qual\_celula 7*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 63 qual\_celula 8*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 88 qual\_celula 9*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 89 qual\_celula 10*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 90 qual\_celula 11*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 91 qual\_celula 12*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 92 qual\_celula 13*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 93 qual\_celula 14*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 94 qual\_celula 15*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 95 qual\_celula 16*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 104 qual\_celula 17*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 105 qual\_celula 18*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 106 qual\_celula 19*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 107 qual\_celula 20*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 108 qual\_celula 21*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 109 qual\_celula 22*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 110 qual\_celula 23*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 111 qual\_celula 24*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 112 qual\_celula 25*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 113 qual\_celula 26*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 114 qual\_celula 27*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 115 qual\_celula 28*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 116 qual\_celula 29*  
*tensao .65*

v .65 *codigo 117 qual\_celula 30*  
*tensao .65*  
v .65 *codigo 118 qual\_celula 31*  
*tensao .65*  
v .65 *codigo 119 qual\_celula 32*  
*tensao .65*

É simulada a queda de tensão nas células.

*controle individual*  
*habilita interrupcoes*  
v .52 *codigo 56 qual\_celula 1*  
*tensao .52*  
v .51 *codigo 57 qual\_celula 2*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 58 qual\_celula 3*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 59 qual\_celula 4*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 60 qual\_celula 5*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 61 qual\_celula 6*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 62 qual\_celula 7*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 63 qual\_celula 8*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 88 qual\_celula 9*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 89 qual\_celula 10*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 90 qual\_celula 11*  
*tensao .51*  
v .51 *codigo 91 qual\_celula 12*  
*tensao .51*  
v .50 *codigo 92 qual\_celula 13*  
*tensao .50*  
v .50 *codigo 93 qual\_celula 14*  
*tensao .50*

A tensão da célula 15 cai para níveis entre 0,3V e 0,5V, então se inicia o processo de reabilitação através do chaveamento do bloco do qual a célula faz parte.

v .49 *codigo 94 qual\_celula 15*  
*tensao .49*

São realizados 12 curto-circuitos no bloco 3, do qual a célula 15 faz parte.

*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 0 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 1 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 2 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 3 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 4 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 5 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 6 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 7 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 8 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 9 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 10 vez*  
*controle de tensao bloco 3 n 15 pela 11 vez*

Terminando os chaveamentos nas células, o controle passa para a medição da célula 16. O qual se constatou que a tensão é muito baixa e pode causar danos a toda pilha, então o processo é abortado.

*v .03 codigo 95 qual\_celula 16*  
*tensao .03*  
*tensao fora dos limites*  
*aborta*

O programa seguiu todos os passos descritos nos fluxogramas do Capítulo 6. No teste do pré-aquecimento a resistência foi acionada quando a temperatura estava abaixo dos 15°C. Quando esta temperatura foi ultrapassada, realizou-se o chaveamento em todas as células até atingir a temperatura de 30°C. Após o pré-aquecimento entrou-se em um laço infinito onde efetuou-se o controle da tensão individual em cada célula. Quando a tensão da célula atingiu um valor abaixo de 0,5V, executou-se 12 chaveamentos no bloco em que a célula faz parte, na tentativa de recuperá-la. E abortou-se toda a operação no momento em que uma célula atingiu a tensão abaixo de 0,3V.

## CAPÍTULO 8

## CONCLUSÕES

---

A instalação e a automação de pilhas de células de combustível requer conhecimentos de várias áreas, o que dificulta sua execução. Além da pequena quantidade de bibliografia sobre o assunto, existe pouca experiência e conhecimento a serem compartilhados por empresas brasileiras sobre manipulação de hidrogênio. As bases estabelecidas para a automação podem ser obtidas através de medidas, bibliografias e patentes disponíveis. Problemas não comentados na literatura podem ser resolvidos com idéias próprias ou adaptações de outros sistemas.

O controle do fluxo de hidrogênio pode ser feito apenas por uma simples válvula reguladora de pressão, podendo assim ser dispensado o controlador ativo de fluxo de gás, pois a quantidade de hidrogênio que entra na pilha é autocontrolado pela carga.

A estimativa da estequiometria para controle da quantidade mínima de ar para a reação pode ser feita medindo-se apenas a corrente da pilha, conhecendo-se a relação vazão/tensão da bomba de ar e a razão de trabalho do PWM que a controla.

As rotinas desenvolvidas para realizar o pré-aquecimento da pilha, controle da tensão individual das células e chaveamento, semelhantes aos descritos nas patentes americanas, atenderam a todos os requisitos de automação descritos, como: temperatura, tempo de chaveamento e limites de tensão. Da mesma forma, para o controle da temperatura de operação descrito no manual de operação da pilha automatizada da BCS Technology.

No desenvolvimento dos módulos e circuitos de acionamento da pilha bem como dos equipamentos auxiliares para implementação do protótipo, procurou-se utilizar materiais de fabricação nacional, o que facilita a aquisição para a instalação ou substituição de peças quando necessário.

Este trabalho reuniu as bases experimentais para implementação de pilhas de células de combustível para geração estacionária de energia elétrica, e a partir deste, novas contribuições, sugestões e soluções podem surgir, melhorando assim o desempenho da planta.

## 8.1 Contribuições

O autor acredita que tenha contribuído para a implementação de sistemas de geração de energia baseadas em células de combustível nos seguintes aspectos:

- Reunião de conhecimentos, bibliografias e materiais mínimos necessários para o projeto e automação de pilhas de células de combustível;
- Desenvolvimento de um algoritmo de controle interno de pilhas de células de combustível;
- Implementação de uma plataforma de controle e acionamento de centrais de energia com células de combustível usando dispositivos bem difundidos no mercado nacional e com custo compatível;
- Implementação de um ambiente genuíno e aberto para projeto de centrais de geração de energia usando células de combustível.

## 8.2 Sugestões para continuidade do trabalho

Este trabalho por ser inovador no âmbito nacional e pode ser o precursor de novos trabalhos tendo este como base, podendo vislumbra-se para a sua continuidade:

- Implementação de um controle para umidificação externa;
- Desenvolvimento de uma técnica para cálculo da frequência do chaveamento entre o ânodo e o cátodo;
- Desenvolvimento de um sistema de co-geração ou aproveitamento do calor gerado pela pilha;
- Desenvolvimento de um inversor adaptado especialmente para injeção de energia da pilha na rede;
- Associação da pilha a outros módulos de geração de energia alternativa, como a solar e eólica;
- Utilização e implementação de técnicas modernas de controle para a automação da pilha.

## Bibliografias

---

- [1] AVISTA LABS. **SR-12 Modular PEM Generator Operator's Manual**; 2000.
- [2] BCS Technology Inc. **Datasheet for 500W PEM stack**; 2002.
- [3] BECKER-IRVIN, C. H. **Battery cell voltage monitor and method**; US Patent 5,914,606, June 22, 1999.
- [4] CORRÊA, J. M. et al. **An analysis of the dynamic performance of proton exchange membrane fuel cells using an electrochemical model**; Proceeding of the 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society – IECON'01; Denver, Colorado, USA; 29/nov a 02/dez de 2001; pp. 141 – 146.
- [5] CORRÊA, J. M. **Subsídios teóricos e práticos para modelagem e simulação de pilhas de células de combustível**. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- [6] FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**; Ed. UFSM, Santa Maria, RS, 1999, 245 p.
- [7] Fuglevand, W. A., Devries, P. D., Loyd, G. A., Lott, D. R. e Scartozzi, J. P. **Fuel cell and method for controlling same**, US Patent 6,096,449, to Avista Labs, Aug. 1,2000.
- [8] Fuglevand, W. A., Bayyuk, S. I., Lloyd, G., Devries, P. D., Lott, D.R. e Scartozzi, J. P. **Fuel cell power system and methods of controlling a fuel cell power system**; US Patent 6,387,556 B1, to Avista Labs, May. 14, 2002.
- [9] Hirschenhofer, J. H. et al. **Fuel cell: handbook**; Rev 3; Ed. Business/Technology Books, 1988.
- [10] LARMINE, J.; DICKS, A. **Fuel cell systems explained**; Ed. John Wiley & Sons; Chichester, Inglaterra; 2000; 308 p.



- [11] MANN, R. F. et al. **Development and application of a generalised steady-state electrochemical model for a PEM fuel cell**; Journal of Power Sources, n° 86, 2000, p.173-180.
- [12] SERPA, L. A. **Estudos e implementação de um sistema gerador de energia empregando células a combustível do tipo pem**. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [13] SILVA, E. P. **Introdução à tecnologia e economia do hidrogênio**; Ed. UNICAMP; Campinas, SP, 1991; 204 p.
- [14] WEBB, D.; MOLLER-HOLST, S. **Measuring individual cell voltages in fuel cell stacks**; Journal of Power Sources, n° 103, 2001, p. 54-60.

## APÊNDICE A

## SOFTWARE NA LINGUAGEM C PARA AUTOMAÇÃO DA PILHA

---

```

/*****
/*          CONTROLADOR PRIMARIO          */
/*          */
/*****

#include <18F452.h>

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#DEVICE ADC=10
#use delay(clock=10000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BRGH10K)
#endif

#include <math.h>    //include das funcoes matematicas

//Ciclos de Trabalho
#define CHEIO      1023
#define ZERO       0

//numero de amostras do A/D
#define AMOSTRAS   10

//temporizacao do bypass
#define BYPASS     128    //ciclo referente ao bypass

// Pinagem do sinalizador de AQUECIMENTO
#define AQUECIMENTO    PIN_C5

//LED RETORNO
#define LED             PIN_B7

//HABILITACAO DA CARGA
#define CARGA           PIN_B6
#define TEMP_DANOSA    PIN_B5

//termino do programa
#define FINAL           PIN_B4

// Pinagem do sinalizador de umidade impossivel
#define IMPOSSIVEL     PIN_B3

// Pinagem das valvulas solenoides
#define REGISTRO_AGUA   PIN_B2    //portd2 sol da agua
#define REGISTRO_HIDROGENIO PIN_B1 //portd0 para sol. do hidrogenio

#define RETORNO        PIN_B0    //B0, sinalizacao do retorno
//CANALIS DO CONVERSOR A/D
#define C_TEMPERATURA  0

```

```

#define C_UMIDADE      1
#define C_CORRENTE     3

#define PWM1_MAX      200
#define PWM2_MAX      200

CONST float temp_limite=55.0;
CONST long ndelta2= -1;

////////////////////////////////////
//                               VARIAVEIS                               //
////////////////////////////////////

int          i, j,w, sinal;

char         selection;

float        temperatura,
            umidade,
            v_controle,
            esteq,
            corrente;

long         delta =1, pwm100, pwm200, ciclo_temp,delta2;

#int_ext // Interrupt-Routine RB0
LED_LIGA()
{
    disable_interrupts(GLOBAL);
    liga=1;
    output_high(LED);
    delay_ms(5000);
    enable_interrupts(GLOBAL);
}

////////////////////////////////////
//FUNCAO PARA CONFIGURAR DIRECIONAMENTO E DINAMICA DA PORTA A //
////////////////////////////////////
void preparaAD()
{
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(adc_clock_internal);
}

////////////////////////////////////
//          ADQUIRE E FAZ A MEDIA NO CANAL SELECINADO          //
////////////////////////////////////

float media_ad(byte canal)
{
    float media = 0, temp_media = 0;
    set_adc_channel(canal);
    delay_us(100);
    for (i=1; i<=AMOSTRAS; ++i)

```

```

    {
        media += read_adc();
        delay_us(100);
    }
    printf("%3.2f, media_ad\r\n", media/AMOSTRAS);
    return(media/AMOSTRAS);
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                     PROTEÇÃO EM CASO DE PROBLEMAS                                     //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void aborta (void)
{
    output_high(FINAL);
    output_low(REGISTRO_HIDROGENIO);
    output_low(REGISTRO_AGUA);
    output_low(CARGA);
    set_pwm2_duty(ZERO);
    set_pwm1_duty(ZERO);
    printf("aborta\r\n");
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                     INICIALIZACAO DA PORTA C                                     //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void inicia_porta_c(void)
{
    set_tris_c(0); //portC todo saida
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 49, 1); // pwm, @ 49 50kHz
    setup_ccp1(CCP_PWM); // Configura CCP1 como PWM
    setup_ccp2(CCP_PWM);
    printf("inicia porta c\r\n");
}

//-----
// Ajusta o ciclo de trabalho do PWM, atraves da funcao set_pwm1_duty, e eh
// chamada com uma percentagem do ciclo e a frequencia maxima do pwm
//
//-----

void pwm1_duty100(long pwm_percent1, long pwm_maximum1)
{
    set_pwm1_duty((pwm_maximum1/100)*pwm_percent1); // PWM #1 duty
    cycle
    printf("pwm1 \r\n");
}

void pwm2_duty100(long pwm_percent2, long pwm_maximum2)
{
    set_pwm2_duty((pwm_maximum2/100)*pwm_percent2); // PWM #1 duty
    cycle
    printf("pwm2 \r\n");
}

```

```

/*****
/*          CONTROLE DA TEMPERATURA          */
*****/

byte pre_aquecimento()
{
    BYTE n=0;
    printf("aguardando retorno\r\n");
    {
        output_low(CARGA);
        if(input(RETORNO))
            while(input(RETORNO)) ;
    else
        while(!input(RETORNO)) ;
        printf("sinalizado\r\n");
    }
    delay_ms(5000);
    output_low(AQUECIMENTO);
    output_high(CARGA);

    printf(" %3.2f testa temperatura\r\n", temperatura);
    return (true);
}

/*****
/*          ANALISA ESTEQUIOMETRIA          */
*****/

float estequiometria()
{
    corrente=media_ad(C_CORRENTE)/30.9;
    esteq=2.5*((v_controle)/0.0571*corrente);
    printf("estequiometria %3.2f corrente %3.2f\r\n", esteq, corrente);
    return(esteq);
}

/*****
/*          CONTROLE DA BOMBA DE AR          */
*****/

void controle_bomba()
{
    pwm1_duty100(pwm100, PWM1_MAX);          // seta pwm duty cycle em pwm100
    v_controle=(pwm100*12)/100;
    corrente=media_ad(C_CORRENTE)/30.9;
    esteq=2.5*((v_controle)/0.0571*corrente);
    printf("estequiometria %3.2f corrente %3.2f\r\n", esteq, corrente);
    umidade=media_ad(C_UMIDADE)/8.53;

    if (umidade < 85 && esteq < 2)
    {
        aborta();
    }
    else if (umidade < 85 && esteq > 2)
    {
        delta2 = ndelta2;
    }
    else if ((umidade > 85) && (umidade <95) && (esteq > 2))

```

```

    {
        delta2 = 0;
    }

    else if ((umidade > 85) && (umidade <95) && (esteq < 2))
    {
        delta2 = delta;
    }

    else if ((umidade > 95) && (esteq > 2))
    {
        delta2 = delta;
    }

    else if ((umidade > 95 && esteq < 2))
    {
        delta2 = delta;
    }

    pwm100 += delta2; // adiciona delta para mudar o ciclo de trabalho
    if (pwm100 > 100)
    {
        pwm100 = 100; // verifica limites do ciclo de trabalho
    }

    else if (pwm100 < 0)
        pwm100 = 0;

    pwm1_duty100(pwm100, PWM1_MAX); // chama funcao para ajustar o pwm
    printf("controle pwm umidade pwm %3.2lu umidade
%3.2f\r\n",pwm100,umidade);
}

/*****
/*                               INICIALIZA                               */
*****/
void preliminar()
{
    output_high(REGISTRO_HIDROGENIO);
    printf("liga hidrogenio\r\n");
    set_pwm1_duty(CHEIO);
    printf("liga ar\r\n");
}

/*****
/*                               PRINCIPAL                               */
*****/

void main()
{
    set_tris_b(1);
    preparaAD();
    inicia_porta_c();
    pwm100=85;
    preliminar();
    temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/9.66;
    printf("temperatura %3.2f\r\n",temperatura);
    if (temperatura <30)
    {
        sinal=0;
    }
}

```

```

ext_int_edge(L_TO_H);
enable_interrupts(INT_EXT);
enable_interrupts(GLOBAL);
while(!sinal)
{
    pre_aquecimento();
    printf("temperatura <30 e com fome \r\n");
}
disable_interrupts(GLOBAL);
printf("liberado\r\n");
}
if (temperatura>=30||pre_aquecimento())
{
    output_high(CARGA);
    printf("temperatura >30 \r\n");
    J=0;
}
while(J==0)
{
    controle_bomba();
    printf("controle da bomba do ar\r\n");
    temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/9.66;
    printf("temperatura %3.2f \r\n",temperatura);
    if (temperatura < 50 )
    {
        set_pwm2_duty(ZERO);
    }
    else if (temperatura >= 50 && temperatura < 60)
    {
        ciclo_temp=(temperatura-49)*10;
        pwm2_duty100(ciclo_temp,PWM2_MAX);
        printf("temperatura 50 60 ciclo %lu temperatura %3.2f
\r\n", ciclo_temp, temperatura);
    }
    else if (temperatura>=60 && temperatura <= 65)
    {
        set_pwm2_duty(CHEIO);
        output_high(REGISTRO_AGUA);
        printf("temperatura 60 65 \r\n");
    }
    else if (temperatura > 65)
    {
        while(temperatura > 65)
        {
            output_low(REGISTRO_HIDROGENIO);
            set_pwm1_duty(0);
            output_high(TEMP_DANOSA);
            delay_ms(5000);
            temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/9.66;
            printf("temperatura %3.2f \r\n",temperatura);
        }
        aborta();
    }
}
}
}

```

```

/*****
/*          CONTROLADOR SECUNDÁRIO          */
/*          */
/*****

#include <18F452.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#DEVICE ADC=10
#use delay(clock=10000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, BRGH10K)

#include <math.h>

////////////////////////////////////
//          CONSTANTES          //
////////////////////////////////////

#define INTS_POR_SEGUNDO 76      // (20000000/(4*256*256))
#define ZERO              0

#define TEMPO_BYPASS      1000   //tempo de comutacao na célula
#define ESPERA_REATIVA    5000   //tempo entre uma e outra célula
#define ESPERA_CICLICO    180000 //tempo para bypass ciclico

#define LED                PIN_B7 //sinal pré-aquecimento

//termino do prg..problema na tensao
#define FINAL              PIN_B5
//Resistencia para o pre aquecimento do sistema.
#define RESISTENCIA        PIN_B3

#define BYPASS              PIN_C2
#define FIM_AQUECIMENTO    PIN_C3
#define AMOSTRAS            10

//////////////////////////////////// A/D          //////////////////////////////////////
#define C_TEMPERATURA      0
#define C_TENSAO           2     //canal a/d da tensao

////////////////////////////////////
//          VARIAVEIS          //
////////////////////////////////////

int teste, testel,i;
int codigo;           //codigo a ser selecionado para medicao de tensao
int n, m;             //contagem na pilha e durante o bypass
int liga;             //liga e faz funcionar..
byte conta_s,conta_m,conta_h; // numero de segundos
byte n_int_rtcc;      // numero de interrupcoes antes do segundo ter se
concretizado
int codigo_bloco;     //inteiro para selecao individual do bloco com problma
de tensao

float voltagem;
float tensao;
float temperatura;
float minuto_matriz [32];
float minuto_matriz_a [32];

```



```

float minuto_matriz_n [32];
float minuto_matriz_h [32];

long hora, hora_a, hora_n, minuto, minuto_a, minuto_n, segundo, segundo_a,
segundo_n;
long clock;

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                     INTERRUPTO DE TEMPORIZACAO                               //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

#int_rtcc          // funcao chamada toda vez que
clock_isr()
{
    // o RTCC (timer0) estoura (255->0).
    // em 20MHz aproximadamente 76 vezes por segundo
    if(--n_int_rtcc==0)
    {
        ++segundo;
        conta_s=segundo;
        n_int_rtcc=INTS_POR_SEGUNDO; //recarrega para decrementar ate o prox
segundo)
    }
    if(conta_s>59)
    {
        conta_s=0; //zera contador
        ++minuto; //incrementa minuto;
        conta_m=minuto;
        if (conta_m>59)
        {
            conta_m=0;
            ++hora;
        }
    }
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                     HABILITA INTERRUPTO DE TEMPORIZACAO                               //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void habilita()
{
    n_int_rtcc=INTS_POR_SEGUNDO;
    set_rtcc(0);
    setup_counters( RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_256);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    printf("habilita interrupcoes\r\n");
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                     DESABILITA INTERRUPTO DE TEMPORIZACAO                               //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void desabilita()
{
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    disable_interrupts(GLOBAL); //verificar se necessário
    printf("desabilita\r\n");
}

```

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//                               INICIALIZACAO DA PORTA B                               //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

void inicia_porta_b(void)
{
    set_tris_b(0);
    printf("inicia porta b\r\n");
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//                               INICIALIZACAO DA PORTA C                               //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

void inicia_porta_c(void)
{
    set_tris_c(0); //portC todo saida
    printf("inicia porta c\r\n");
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//FUNCAO PARA CONFIGURAR DIRECIONAMENTO E DINAMICA DA PORTA A //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

void preparaAD()
{
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(adc_clock_internal);
    printf("preparaAd\r\n");
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//          ADQUIRE E FAZ A MEDIA NO CANAL SELECIONADO          //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

float media_ad(byte canal)
{
    float media = 0, temp_media = 0;
    //preparaAD();
    set_adc_channel(canal);
    delay_us(100);
    for (i=1; i<=AMOSTRAS; ++i)
    {
        media += read_adc();
        delay_us(100);
    }
    // printf(" %3.2f media_ad\r\n", media/AMOSTRAS);
    return(media/AMOSTRAS);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//                               FAZ BY-PASS EM TODAS AS CÉLULAS                               //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

void faz_todas(void)
{
    byte i;
    for(i=0; i<8; i++)
    {
        output_b(i);           //TRISB=i;
    }
}

```

```

    output_high(BYPASS); //set_pwm1_duty(BYPASS);
    delay_ms(TEMPO_BYPASS);
    printf("bypass celula %i em B\r\n", i);
}
output_low(BYPASS);
printf("faz todas DESLIGADO\r\n");
}

////////////////////////////////////
//                               PROTEÇÃO EM CASO DE PROBLEMAS                               //
////////////////////////////////////
////

void aborta (void)
{
    output_high(FINAL);
    printf("aborta\r\n");
}

////////////////////////////////////
//          LACO INFINITO PARA A SAIDA APOS TENSÃO NÃO COMPATÍVEL          //
////////////////////////////////////
void cancela ()
{
    for(;;)
    {
        aborta();
        output_high(LED);
        delay_ms(2000);
        output_low(LED);
        delay_ms(2000);
    }
}

////////////////////////////////////
//          SELECIONA O CANAL E FAZ MEDIDA DE TENSÃO NA CELULA          //
////////////////////////////////////

float individual(int qual_celula)
{
    voltagem=0.0;
    codigo=0;
    if (qual_celula<=8)
        codigo=55+qual_celula;
    if (qual_celula>8 && qual_celula < 17)
        codigo=79+qual_celula;
    if (qual_celula>=17)
        codigo=87+qual_celula;
    output_d(codigo); //seleciona o mux do canal certo
    delay_us(50);
    voltagem=media_ad(C_TENSAO)/682.67;
    printf("v %6.2f codigo %i qual_celula %i \r\n", voltagem, codigo,
qual_celula);
    return(voltagem);
}

```

```

////////////////////////////////////
//          VERIFICA LIMITES DE TENSÃO E RECUPERA          //
////////////////////////////////////

void controle_tensao (void)
{
    m=0;
    for(n=1; n<33; n++)
    {
        tensao=individual(n);
        printf("tensao %3.2f\r\n",tensao);
        if ((tensao < 0.3) || (tensao>1.3))
        {
            n=33;
            printf("tensao fora dos limites\r\n");
            aborta(); //desliga sistema e sinaliza.
            cancela();
        }
        if ((tensao < 0.5) && (tensao> 0.3)) //chama by pass na célula em
questao
        {
            for (m=0; m<12; m++)
            {
                if (n==0)
                {
                    codigo_bloco=0;
                }
                if (n!=0)
                {
                    codigo_bloco=((n-1)/4);
                }
                output_b(codigo_bloco);
                output_high(BYPASS);
                printf("controle de tensao bloco %i n %i pela %i vez/r/n",
codigo_bloco,n,m);
                delay_ms(ESPERA_REATIVA);
            }
        }
        printf("controle individual\r\n");
        output_low (BYPASS);
    }
}

////////////////////////////////////
//          PRÉ-AQUECIMENTO DA PILHA          //
////////////////////////////////////

void testa_temperatura()
{
    BYTE n=0;
    temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/6.518;
    clock=hora;
    printf("testa temperatura %3.2f %lu \r\n", temperatura, clock);
    while (temperatura<15)
    {
        output_high(RESISTENCIA);
        output_low(FINAL);
        output_low(FIM_AQUECIMENTO);
        output_low(BYPASS);
    }
}

```

```

        delay_ms(10000);
        temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/6.518;
        printf("temperatura %3.2f <15\r\n",temperatura);
    }
    if (temperatura>=30)
    {
        output_low(RESISTENCIA);
        output_low(FINAL);
        output_low(BYPASS);
        output_high(FIM_AQUECIMENTO); //envia sinal sinalizando fim do
aquecimento
        temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/6.518;
        printf("temperatura %3.2f >= 30 e sinal de
dispensa\r\n",temperatura);
        delay_ms(10000);
        output_low(FIM_AQUECIMENTO);
        controle_tensao();
    }
    while (temperatura >=15 && temperatura < 30)
    {

        output_low(RESISTENCIA);
        output_low(BYPASS);
        output_low(FIM_AQUECIMENTO);
        minuto_n=minuto;
        segundo_n=segundo;
        printf("temperatura entre 15 e 30 minuto %lu segundo %lu\r\n",minuto,
segundo);
        faz_todas(); //bypass em todas celulas output_high(PIN_C2);
        temperatura=media_ad(C_TEMPERATURA)/6.518;
        printf("faz todas no tempo %lu T
%3.2f\r\n",segundo_n,temperatura);

        delay_ms(4000);

//    }
    }
    printf("testa temperatura perdido\r\n");
    output_low(BYPASS);
    output_low(RESISTENCIA);
}

////////////////////////////////////
//                                BY-PASS CICLICO                                //
////////////////////////////////////

void ciclico (int celula)
{

    inicia_porta_b();
    inicia_porta_c();
    habilita();
    output_low(RESISTENCIA); //garante nao uso da resistencia
    for (i=1; i<8; i++)
    {
        output_b(i); //coloca valor para selecao portd=i;
        do
        {
            output_high(BYPASS); // set_pwm1_duty(BYPASS);
            printf("bypass ciclico em %i de b\r\n",i);

```

```

        delay_ms (TEMPO_BYPASS);
    }
    while (segundo<1800);
}
desabilita(); //necessidade de habilitar e desabil durante celulas
printf("seleciona\r\n");
output_low(BYPASS);
}

////////////////////////////////////
//                                PRINCIPAL                                //
////////////////////////////////////

void main()
{
    preparaAD();
    inicia_porta_b();
    inicia_porta_c();
    output_low(BYPASS);
    output_low(FINAL);
    output_low(RESISTENCIA);
    output_low(LED);
    output_low(FIM_AQUECIMENTO);
    set_tris_b(1);
    setup_counters (RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_2);
    testa_temperatura();
    hora_a=hora;
    minuto_a=minuto;
    segundo_a=segundo;
    enable_interrupts (GLOBAL);
    for(;;)
    {
        habilita();
        hora_a=hora;
        minuto_a=minuto;
        segundo_a=segundo;

        controle_tensao ();
        output_low(BYPASS);
        for (i=0;i<9;i++)
        {
            minuto_n=minuto;
            if ((minuto_n-minuto_a)>3)
            {
                ciclico(i);
                output_low(BYPASS);
            }
        }
    }
}

```

## ANEXO A

## MANUAL DA PILHA BCS

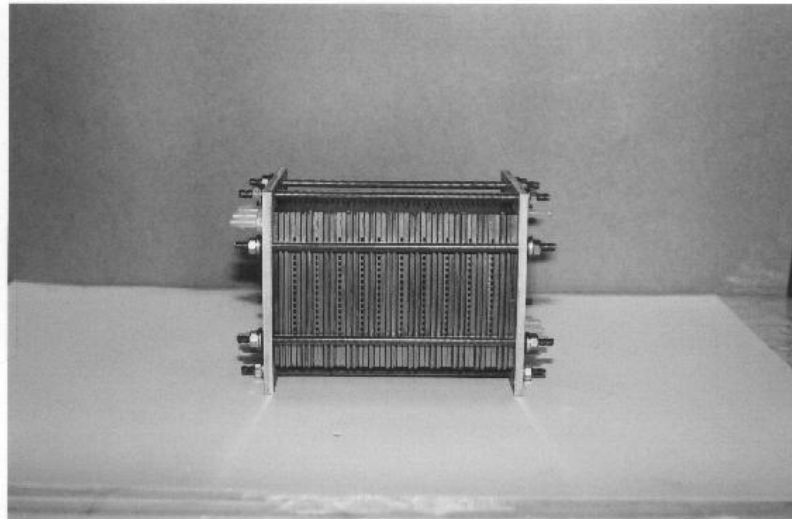
---

A pilha de células de combustível usada nos testes desta dissertação foi adquirida do fabricante BCS Technology, Inc., sendo que o manual fornecido pela empresa é transcrito abaixo, com suas características e limitações.

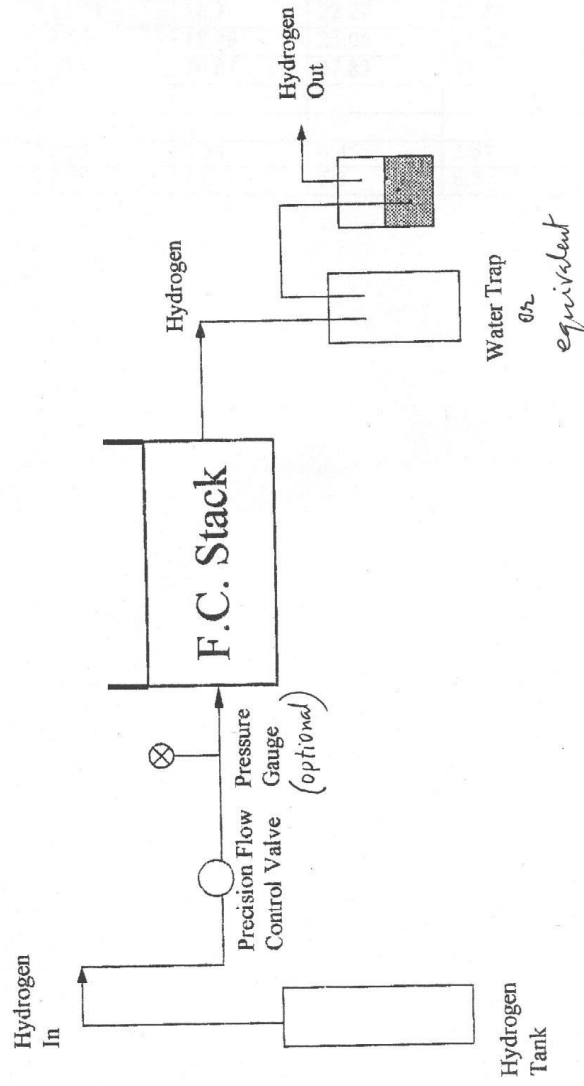
### Parts List

#### 500W stack

- One fuel cell stack
- 4 cooling fans (two sets)
- One pressure tubing to be attached to the air exit
- 2 connecting bolts with washers attached to two terminals of the stack
- One booklet containing all instructions
- *One piece of tubing (≈ 6.75" long) to be connected to complete the water line*



# Connection Diagram of Fuel Cell Stack





Stoichiometry chart for air and hydrogen flows (liters/min) for 32-cell 500W stack

	Current ( A)					
	5	10	15	20	25	30
Air stoich						
2.0	5.57	11.15	16.7	22.27	27.84	33.41
2.25	6.27	12.54	18.79	25.05	31.32	37.58
2.5	6.96	13.92	20.87	27.83	34.8	42.14
H stoich						
1.0	1.11	2.23	3.34	4.45	5.57	6.68
1.2	1.3	2.7	4.0	5.3	6.7	8.0

BCS Technology, Inc.  
2812 Finfeather Road, Bryan, Texas 77801, USA  
Tel. 979-823-7138 Fax: 979-823-8475  
E-Mail: bcstech@txcyber.com

### **Guidelines for Operation of Forced-Flow Fuel Cell Stack (#64-32-16R)**

(Please read this instruction completely before operating the stack)

There are 32 cells in this stack. This is a self-humidified stack. This stack does not require any humidification of reactants.

There are several air-cooling cells in this stack. Air enters through these cells during cooling by fans. There are no fuel cells in the air-cooling cells.

This stack has been extensively tested for performance and gas leaks within the stack specifications at the laboratory of BCS Technology, Inc. It has been found to be running satisfactorily. It is **not** necessary to test for leaks to start operating this stack. We have collected the representative data. The performance should improve with time for some time.

This stack will work with hydrogen/air, reformat/air.

For measurements of cell voltages of individual cells, the entire stack can be divided into groups of five cells. There are white markings placed after every five cells. The customer will require meters for measuring voltages of the stack.

1. Place the stack on two pieces of wood or plastic of the same height. The stack orientation would be such that one can read the lettering properly.
2. For monitoring stack temperature, insert a thermocouple to one of the cooling cells.
3. Stack can be cooled with cooling fans or passing distilled water through channels marked "cooling water in" and "cooling water out". Four cooling fans are provided with the stack. Mount the cooling fans on the two sides of the stack, and connect them to a DC power supply capable of providing up to 12V. For water cooling, a water pump and a heat exchanger are required.
4. Cooling is needed above 60-65°C. While cooling with fans, start the cooling at about 45-50°C. This will give time for the cooling action to start. (In the absence of a temperature-measuring device, start cooling while beginning stack operation). While cooling with water, start cooling at 55-60°C.
5. Keep inlet pressure of hydrogen within 5 psi or below.
6. The stack is started initially at the room temperature. For starting subsequently, it is not necessary to bring down the stack to the room temperature.
7. Start-up procedure: Hydrogen/Air. Air should be filtered of any particles such as dust, grease, etc.

Make fuel cell connections to a hydrogen source through a **precision flow control** valve

(please see the connection diagram). A precision flow control valve is one, which is able to control precisely the hydrogen flow. Without a fine control valve, it may be difficult to pass the required amount of hydrogen to the fuel cell. (Alternatively, one can experiment with whatever control valve one has, and see if that particular valve is able to control the required hydrogen flow.) If one can set the flow in such a way that about 5-10 bubbles exit in every second, that will be sufficient to run the stack.

A bubbler can be used to see the hydrogen flow. When hydrogen is stopped, or the amount of hydrogen is insufficient at a certain current, water can be sucked into the stack. This should be avoided. No damage will occur for a momentary entry of water into the stack. If the water stays for a longer time, the cells can get damaged. **An intermediate trap for water must be placed before the water bubbler.**

If water trap is not immediately available, the end of the tube coming out of the hydrogen outlet can be submerged in water in a beaker or glass to see the hydrogen bubbles. However, the end of the tube must not be kept inside the water all the time, only when it is necessary to check the hydrogen flow. When the stack is operating, it is advisable to remove the end of the tube from the water. It is a safeguard to prevent any unintentional transfer of water into the stack.

Initially purge the both sides of the stack to remove accumulated water in the channels. To accomplish this, do the following: Pass air through the air channels at the rate of 10-15 liter/min from the top for about 5-10 seconds. Then do the same with the hydrogen channels also passing from the top. **Make sure in both cases, the outlets are not blocked. (Keep inlet air pressure within 10 psi).**

For stack operation, air stoichiometry is about 2 to 2.5. Hydrogen stoichiometry is about 1.1 to 1.2. Pass sufficient reactants for about 10A current. The OCV should be in the range 28-30V.

Pressure on the air-side can be applied using a thin tube (supplied with the stack) connected at the air outlet. It will apply up to about 10 psi pressure at full power. Do not apply pressure when using oxygen as the reactant.

No pressure is required at the hydrogen side.

Draw current in the range 5-10A. Operate for a few minutes until the temperature starts increasing. Measure voltages of all the quarters of the stack. If some cells are very low, momentarily increase the flows to remove any water blockages. At this point reactant flows and currents output can be increased.

Hydrogen/Oxygen. Operate stack at the atmospheric pressure. Do not pressurize stack while using oxygen. This is for safety reasons. This stack is preferably operated with hydrogen/air.

It is advisable to operate stack at a lower current (5-15 A) initially until the operation of the

stack is understood.

9. Do not operate stack unattended until its characteristics have been understood.
10. **Stack cooling.** Up to about 150-200W of power, the stack can be cooled using the cooling fans provided with the stack. To run the fans, connect them to a DC power supply.

Above 200W, pass **distilled water** through the cooling loop of the stack. The cooling pump is not supplied. Maintain water flow about 0.5 to 2 liter/minute. Both air-cooling and water-cooling can be done at the same time.

It is not necessary to cool the stack to room temperature. The stack can be left to cool on its own at 50-55°C.

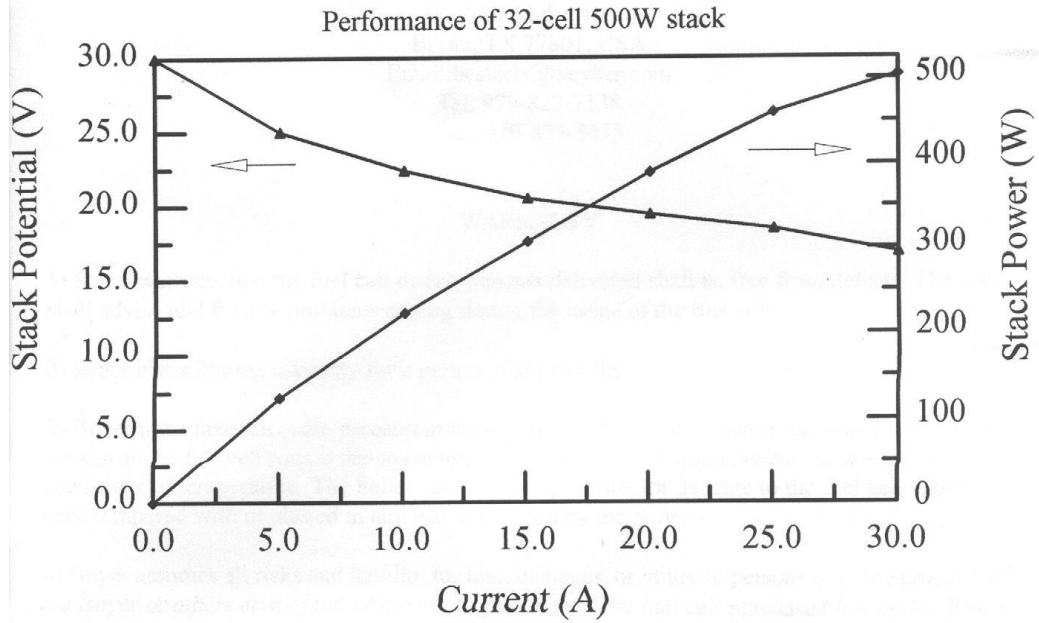
11. To stop operation, stop air and hydrogen flows. Drain power from the stack and bring down the voltage to a low value.
12. As the final step, it is also recommended that both sides of the stack are purged again as done under step 7.

#### Other points

1. When moving or carrying the stack, always hold on to the body of the stack and not to the fittings or the guiding rods.
2. The inlet air should be always filtered to remove any particles, oil or grease.
3. Avoid using any valves or items using oil or grease. All valves should be opened and checked for the presence of grease.
4. Always protect the 2 plastic stack-guiding rods from breakage.
5. When collecting water from the stack, take care that the drainage tube does not touch the water level. This is to avoid back suction of water into the stack. This could be damaging for the cells.
6. Take personal care not to get electrical shocks from the stack. After the running the stack, always bring voltage to zero by drawing power from the stack.

#### Stack Specifications

Number of cells: 32, Electrode area: 64 cm<sup>2</sup>, Reactants: H<sub>2</sub>/air, reformat/air. Torque on bolts: 30 inch.pound, Power output: 500 W. Max operating temperature: 65°C. Operating pressure: 1-10 psi air, 0-3 psi hydrogen.



BCS Technology, Inc.  
Reactants: Hydrogen/air  
T: 60-65°C  
P: air 0-10 psi; Hydrogen 0-1 psi  
Air stoich: 2.0-2.25  
Hydrogen stoich: 1.1-1.2

**BCS Technology, Inc.**

2812 Finfeather Road  
Bryan, TX 77801, USA  
Email:bcstech@txcyber.com  
Tel. 979-823-7138  
Fax: 979-823-8475

**WARRANTY**

- 1) Seller warrants that the fuel cell or components delivered shall be free from defects. The seller shall advise and fix any problems arising during the usage of the fuel cell.
- 2) Seller gives limited warranty for a period of six months.
- 3) Buyer must take adequate precaution during its use. The Seller cannot be responsible for any damage to the fuel cell caused due to negligence, accident, abuse, improper care or storage, abnormal conditions of temperature. The Seller cannot be responsible for damage to the fuel cell which has been tempered with or altered in any way other than by the Seller.
- 4) Buyer assumes all risks and liability for loss, damages, or injury to persons or to the property of the Buyer or others arising out of the use or presence of the fuel cell purchased hereunder. Buyer agrees to indemnify and hold harmless Seller against any liability, damages, losses, costs, and expenses in connection with any suit or claim, including but not limited to, any loss of use, loss of profits, damage, or injuries to person or property arising out of or relating to any use of the fuel cell purchased by Buyer herein, whether such claim is made by Buyer, Buyer's customers, or other third party.

## ANEXO B

## HIDROGÊNIO

---

Hidrogênio é o elemento mais simples e de maior quantidade no universo. Cada átomo está composto de um próton e um elétron fazendo que alguns cientistas acreditam que é a fonte de todos os outros elementos pelo processo da fusão nuclear. A molécula de hidrogênio é composta por dois átomos e na natureza se apresenta na forma de gás. A seguir são discutidas as suas propriedades, produção, armazenagem e cuidados no manuseio.

### B.1 Propriedades físicas

O hidrogênio possui o conteúdo de energia mais alto por unidade de peso em comparação com qualquer outro combustível conhecido, 120,7 kJ/g. Isto faz com seja usado como combustível para foguete e propulsão de naves espaciais, pois estas requerem combustíveis de baixa densidade e alta energia.

O hidrogênio também é o mais leve de todos os gases (densidade 84 g/m<sup>3</sup> a 15 °C e 1 bar). Por isso, em caso de fuga, ele se acumula nas partes superiores de qualquer recinto. Ao contrário dos outros gases, uma descompressão de hidrogênio à temperatura ambiente origina um ligeiro aumento na temperatura. Porém, este aumento de temperatura não é suficiente para a auto-ignição, uma vez que esta ocorre à cerca de 600°C.

O hidrogênio líquido LH<sub>2</sub> é um líquido muito leve (densidade 70 g/L à temperatura de -253 °C). O LH<sub>2</sub> evapora-se muito rapidamente à temperatura ambiente, obtendo-se 845 litros de hidrogênio gasoso a partir de 1 litro de LH<sub>2</sub>. Imediatamente após a evaporação, o hidrogênio gasoso ainda está muito frio e tem sensivelmente o mesmo peso que o ar, pelo que se difunde na horizontal. No entanto, aquece muito rapidamente, a sua densidade diminui e o gás sobe.

## B.2 Propriedades químicas

Quando o hidrogênio em contato com um agente oxidante se inflamar, pode ser explosivo, pois devido a liberação de grande quantidade de calor há um aumento rápido da pressão que pode ser muito destrutivo.

Os níveis de concentração que o hidrogênio pode reagir com o ar à temperatura e pressão normal é, comparativamente com outros gases combustíveis, muito diferentes, o limite inferior de explosividade é (LEL) 4 Vol. %; e o limite superior (UEL) 75,6 Vol. %, não sendo este um fator necessariamente desfavorável do hidrogênio. O propano, por exemplo, pode criar uma atmosfera explosiva muito mais rapidamente (LEL 2,1 Vol. %), que o hidrogênio. Porém em uma instalação onde há uma concentração maior de gás o hidrogênio pode criar uma atmosfera mais explosiva que o propano, uma vez que o limite superior do propano é de somente 9,5 Vol %.

A combustão de misturas de hidrogênio e ar é iniciada por fontes de ignição contendo muito pouca energia. A quantidade mínima de energia necessária para inflamar o hidrogênio é de 0,019 mJ que é 1/10 da do propano. Devido a esta pequena energia de ignição, partículas de pó, que sejam transportadas por um forte fluxo de hidrogênio, podem originar uma faísca pela descarga eletrostática ou por choque com uma superfície. Assim o hidrogênio é injustamente classificado de auto-inflamar-se.

A chama do hidrogênio quase não consegue ser vista à luz do dia o que dificulta sua identificação no caso combustão. O hidrogênio líquido tem as mesmas propriedades químicas que o gasoso, no entanto a sua capacidade de reagir com o oxigênio é ligeiramente mais reduzida devido à sua baixa temperatura.

O hidrogênio não é corrosivo, portanto na temperatura normal, metais como aço, cobre, bronze, alumínio, podem ser utilizados na sua manipulação, salvo que em alguns tipos de aço e em certas circunstâncias podem ser danificados, originando a sua fragilização. Podem ser utilizadas no seu manuseio também borrachas e plásticos. Porém materiais fundidos devido a sua porosidade não devem ser usados, pois as moléculas de hidrogênio são pequenas e podem encontrar caminho através de finas fissuras que seriam impermeáveis a outros gases. Devido à sua baixa temperatura, o hidrogênio líquido pode causar fissuras em borracha, plásticos e aço carbono.



### **B.3 Produção de hidrogênio**

O hidrogênio pode ser considerado um armazenador de energia, e se for produzido através recursos renováveis como a hidro, solar, e energia eólica torna-se um combustível renovável.

Pode-se obter hidrogênio também através de reformadores, onde qualquer tipo de combustível fóssil e hidrocarbonetos, como: metanol, etanol, gás natural, destilados do petróleo, propano líquido e carvão gaseificado. O processo de reformação combina os combustíveis com vapor de água, evaporando-os juntos a altas temperaturas. O hidrogênio é assim separado usando membranas. Um inconveniente da reforma a vapor é que consome energia. Outro tipo de reformador é o de Oxidação Parcial (POX). Este processo emite CO<sub>2</sub>, o qual o faz contaminante.

Pode-se produzir também através de enzimas, onde são usadas bactéria e alga. A cianobactéria é um organismo monocelular abundante, produz hidrogênio através da sua função metabólica normal. A cianobactéria pode crescer no ar e na água e contém enzimas que absorvem a energia da luz do sol e separam as moléculas de água, produzindo assim hidrogênio.

Mas, a maneira de se obter hidrogênio em larga escala mais conhecida e promissora é a eletrólise, onde é feita a quebra da molécula d'água através de uma corrente elétrica. Esta corrente pode ser através da coleta de energia renovável (eólica, fotovoltaica, hidráulica) para eletrolisar a água e convertê-la em hidrogênio e oxigênio, tornando-se assim um combustível renovável.

### **B.4 Armazenamento de hidrogênio**

Embora o hidrogênio possa ser armazenado líquido, este processo é difícil porque o hidrogênio deve ser esfriado a -423° Fahrenheit (-253° Centígrado). Refrigerando hidrogênio a esta temperatura usa o equivalente de 25% a 30% de seu conteúdo de energia, e requer materiais especiais e controlados.

Também pode ser armazenado hidrogênio na forma de gás que usa menos energia que hidrogênio líquido, o qual deve ser pressurizado para armazenar qualquer quantidade apreciável. Para amplo uso, poderia ser armazenado em cavernas, campos de gás, e minas,

porém seu transporte não é prático porque os tanques pressurizados de metal para armazenar gás hidrogênio para o transporte é muito caro.

Um método potencial e eficiente de armazenagem de hidrogênio estão nos híbridos, que são combinações químicas de hidrogênio a outros materiais, onde há uma absorção de hidrogênio e liberação quando aquecido. Porém, híbridos armazenam pouca energia por peso de unidade, ou seja, são de elevada massa e pouco hidrogênio armazenado. Pesquisa atual aponta para produzir uma combinação que levará uma quantia significativa de hidrogênio com uma densidade de energia alta.

## **B.5 Efeitos biológicos**

O Hidrogênio é um gás incolor, inodoro e sem sabor, não sendo perceptível através dos sentidos humanos. Também não é venenoso, porém quando inalado em elevadas concentrações causará asfixia, devido à falta de oxigênio. O risco de asfixia por substituição do oxigênio do ar, apenas se torna sensível quando a concentração de  $H_2$  atinge 30%. As pessoas não devem ser expostas a tal concentração, devido ao risco de explosão. Hidrogênio criogênico no estado líquido ou gasoso (depois de evaporado) pode causar queimaduras criogênicas por contato com a pele.

O hidrogênio não representa um risco para o meio ambiente, não afeta a camada de ozônio e não contribui para o efeito estufa e os gases liberados pela combustão não contêm dióxido de carbono ou fuligem.

## **B.6 Medidas de segurança**

A formação da atmosfera explosiva em instalações com hidrogênio pode ser evitada tomando-se alguns cuidados.

- Construindo as unidades de armazenamento e operação com boa ventilação (aberturas no telhado causam uma ventilação eficaz), ou seja, devem sempre que possível ser colocadas ao ar livre, de forma que qualquer fuga de hidrogênio se liberte para a atmosfera sem perigo. Se tal não for possível, pelo menos o depósito de hidrogênio deve ser instalado no exterior.

- As linhas de descarga das válvulas de segurança ou bombas de vácuo, devem ser conduzidas para o exterior, e não estar localizadas sob aberturas em edifícios ou entradas de

ar. Estas saídas devem estar claramente identificadas para que em caso de trabalhos com calor, todos saibam as precauções a tomar.

- No interior de instalações de hidrogênio, tem de ser possível o corte da alimentação de gás, a partir de uma área segura.

- A monitoração da concentração de hidrogênio pode estar ligada a um sistema de controlo e alarme, que aciona automaticamente a ventilação no teto quando atingido um valor crítico.

- As ligações entre tubagens devem sempre que possível ser permanentemente soldadas, de forma a assegurar a longevidade da sua estanquicidade. Quando tubagens que podem ser separadas estão conectadas por flanges roscados ou conexões, têm de ser usados detectores de fugas. Isso tem de ser feito primeiro com um gás não inflamável, uma segunda verificação com hidrogênio à pressão de trabalho deve ser efetuada. Uma instalação de hidrogênio com fugas não é segura, esta deve ser despressurizada, purgada e reparada.

- Válvulas de cilindros garrafas e quadros apenas devem ser abertos após os redutores de pressão estiverem ligados.

- Quando não estejam a uso, as válvulas devem estar fechadas de forma a evitar fugas. Se a válvula de um cilindro ou quadro estiver com fuga, o recipiente tem de ser transportado para o exterior para ser esvaziado.

#### B.6.1 Como reagir em caso de fuga ou um incêndio

Se há fuga de hidrogênio, o fornecimento de gás deve ser cortado. A reparação não deve ser efetuada enquanto a fuga persistir devido ao risco de incêndio. Se uma grande quantidade escapou para uma sala, existe o risco de ocorrer uma explosão, todo o pessoal deve evacuar a sala, proceder-se à sua ventilação e comprovar o sucesso da operação medindo a atmosfera. Se a fuga se incendiou, pode ser extinta através do corte da alimentação das linhas de hidrogênio. Caso não se tenha sucesso, não tentar extinguir o fogo em salas com agentes extintores, uma vez que o fluxo contínuo de hidrogênio representa um risco de explosão. Nestes casos, deixar o hidrogênio arder até que se extinga por si. Pode ser necessário arrefecer áreas com água, que possam estar em risco pelo fogo. Quando o processo de queima estiver quase no final, a instalação afetada deve ser purgada com Azoto para assegurar que não existe um reacendimento no seu interior.

## ANEXO C

## FATORES DE CONVERSÃO PARA AS PRINCIPAIS UNIDADES DE PRESSÃO

---

<b>TABELA DE CONVERSÃO DE PRESSÃO</b>						
<b>Unidade</b>	<b>atm</b>	<b>psi</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>bar</b>	<b>mmHg</b>	<b>Pa</b>
<b>atm</b>	1	14,6959	1,033	1,01325	760	101325
<b>psi</b>	0,0680	1	0,07031	0,06895	51,71	6894,8
<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>	0,96778	14,2234	1	0,98	735,514	98066,5
<b>bar</b>	0,9869	14,5	1,02	1	750,061	10000
<b>mmHg</b>	0,001315789	0,01933677	0,00135951	0,001333224	1	133,3224
<b>Pa</b>	0,000009869	0,0001450377	0,00001019716	0,00001	0,007500617	1