

ARLINDO BEZERRA DE ARAÚJO JÚNIOR

VENTILAÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO DE SALA DE BATERIAS  
DE UM CENTRO DE OPERAÇÕES INTEGRADAS (COI)

São Paulo

2021

ARLINDO BEZERRA DE ARAÚJO JÚNIOR

VENTILAÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO DE SALA DE BATERIAS  
DE UM CENTRO DE OPERAÇÕES INTEGRADAS (COI)

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica de São Paulo para a obtenção  
do título de Especialista em Higiene  
Ocupacional.

São Paulo  
2021

## RESUMO

ARAUJO JÚNIOR, Arlindo Bezerra de. **Ventilação industrial: Estudo de caso de uma sala de baterias de um Centro de Operações Integradas (COI)**. 2021. 50f. Monografia de Especialização em Higiene Ocupacional – Programa de Educação Continuada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O presente estudo tem como objetivo apresentar os resultados do dimensionamento de um sistema de ventilação da sala de baterias de um Centro de Operação Integrado (COI) que faz a supervisão contínua da produção de poços de petróleo de um campo terrestre situado na região Nordeste do Brasil. Em função do uso de baterias para o fornecimento de energia ininterrupta para os sistemas críticos ocorre a emissão de gás hidrogênio em ambientes fechados o que pode causar incêndios e explosões. Com este estudo pretendeu-se investigar como é obtida a taxa de emissão do gás que serve como parâmetro para o cálculo da vazão mínima requerida para a diluição do ar abaixo do limite inferior de explosividade da substância. Os resultados demonstraram que a ventilação industrial permite o controle de atmosferas potencialmente explosivas de forma a reduzir a concentração dos gases e vapores inflamáveis em níveis adequados. Conclui-se que o uso de sistemas de ventilação geral diluidora para estes fins deve ser dimensionado considerando as melhores práticas recomendadas bem como as características específicas de cada projeto.

**Palavras-chave:** Bateria VRLA. Diluição do hidrogênio. Ventilação geral diluidora. Ventilação industrial. Incêndio e explosão.

## ABSTRACT

ARAUJO JÚNIOR, Arlindo Bezerra de. **Industrial Ventilation: Case Study of a Battery Room of an Integrated Operations Center (IOC)**. 2021. 50f. Monografia de Especialização em Higiene Ocupacional – Programa de Educação Continuada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

This study aims to present the results of the design of a battery room ventilation system of an Integrated Operation Center (IOC) that continuously supervises the production of oil wells in an onshore field located in the Northeast region of Brazil. Due to the use of batteries to supply uninterrupted power to critical systems, hydrogen gas is emitted indoors, which can cause fires and explosions. This study aimed to investigate how the gas emission rate is obtained, which serves as a parameter for calculating the minimum flow required for air dilution below the lower explosive limit of the substance. The results showed that industrial ventilation allows the control of potentially explosive atmospheres in order to reduce the concentration of flammable gases and vapors to adequate levels. It is concluded that the use of diluting general ventilation systems for these purposes should be dimensioned considering the best recommended practices as well as the specific characteristics of each project.

**Keywords:** Fire and Explosion. General Diluting Ventilation. Hydrogen Dilution. Industrial Ventilation. VRLA Battery.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ventilação geral diluidora e ventilação local exaustora.....	13
Figura 2 – Efeito da insuflação e da exaustão na velocidade do ar.....	14
Figura 3 – Ventilação geral natural por efeito térmico.....	16
Figura 4 – Componentes de uma bateria chumbo-ácida.....	19
Figura 5 – Regimes de operação de bateria secundária.....	21
Figura 6 – Arranjo de sala de baterias.....	27
Figura 7 – Automação de poço de petróleo terrestre.....	29
Figura 8 – Arquitetura externa do COI.....	30
Figura 9 – Área interna da sala de equipamentos de TI.....	31
Figura 10 – Área externa da sala de equipamentos de TI.....	31
Figura 11 – Banco de baterias.....	32
Figura 12 – Informações do invólucro da bateria.....	32
Figura 13 – Veneziana para tomada de ar.....	37
Figura 14 – Exaustor para ventilação mecânica.....	38
Figura 15 – Arranjo da sala de equipamentos de TI.....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das baterias.....	20
Quadro 2 – Normas sobre a taxa de emissão de H <sub>2</sub> .....	21
Quadro 3 – Corrente de flutuação e de recarga de baterias VLA, VRLA e NiCd .....	23
Quadro 4 – IEC-62485-Series.....	23
Quadro 5 – Enclausuramento de sala de baterias em plataformas de petróleo.....	27
Quadro 6 – Cálculo da emissão de H <sub>2</sub> em kg/h.....	33
Quadro 7 – Cálculo da ventilação mínima requerida.....	34
Quadro 8 – Cálculo da área da veneziana de ventilação natural.....	35
Quadro 9 – Cálculo da ventilação mínima requerida pela IEC-62485-2 .....	36
Quadro 10 – Cálculo da área livre de abertura pela IEC-62485-2.....	36
Quadro 11 – Tempo para o LIE sem ventilação natural.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COI	Centro de Operações Integradas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
LIE	Limite Inferior de Explosividade
LT	Limite de Tolerância
NBR	Norma Brasileira
NiCd	Níquel-Cádmio
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
PPM	Parte por Milhão
TLV	<i>Threshold Limit Value</i>
TI	Tecnologia da Informação
USP	Universidade de São Paulo
VGD	Ventilação Geral Diluidora
VLA	<i>Vented Lead-Acid</i>
VLE	Ventilação Local Exaustora
VRLA	<i>Valve Regulated Lead-Acid</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da menor abertura de ar de entrada ou de saída em m <sup>2</sup> ou cm <sup>2</sup>
Ah	Ampere-hora
B	Fator de temperatura
C <sub>E</sub>	Coeficiente de entrada da abertura
D	diâmetro
fs	Fator de segurança
G	Taxa de geração do poluente (kg/h)
H	Diferença de cota entre as aberturas médias de saída e entrada em m
H <sub>2</sub>	Gás hidrogênio
I <sub>CARGA</sub>	Corrente de recarga do banco de baterias em àmpères
I <sub>FLUT</sub>	Corrente de flutuação do banco de baterias em àmpères
K	Fator de efetividade da distribuição do ar
M	Massa molecular do poluente (kg/kg.mol)
n	Número total de células do banco de baterias
Q	Vazão mínima requerida de ar necessária à diluição (m <sup>3</sup> /h)
q	Taxa de emissão de H <sub>2</sub> em m <sup>3</sup> /h
Q <sub>v</sub>	Vazão disponível devido à força dos ventos em m <sup>3</sup> /s
Q <sub>T</sub>	Vazão disponível devido ao efeito térmico em m <sup>3</sup> /h
s	Fator de segurança
t	Temperatura em °C
V	Velocidade em m/s
v	Fator de diluição do gás hidrogênio
ρ <sub>ar padrão</sub>	Densidade do ar de 1,2kg/m <sup>3</sup> nas condições de 21°C e 1 atm
Δt	Diferença da temperatura interna (média) e a temperatura externa em °C

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1. OBJETIVO .....	11
1.2. JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
2.1. A VENTILAÇÃO INDUSTRIAL.....	12
2.1.1. Ventilação geral natural devido a força dos ventos .....	15
2.1.2. Ventilação geral natural devida ao efeito térmico.....	16
2.1.3. Ventilação geral diluidora mecânica .....	17
2.2. A FONTE GERADORA DE POLUENTE.....	19
2.3. VENTILAÇÃO DE SALA DE BATERIAS PELA IEC-62485-2 .....	23
2.4. ARRANJO DA SALA DE BATERIAS .....	25
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1. CÁLCULO DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA.....	33
4.2. CÁLCULO DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PELA IEC-62485-2 .....	35
4.3. ESPECIFICAÇÃO DE TOMADA DE AR E EXAUSTOR.....	37
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de baterias chumbo-ácidas para sistemas de energia auxiliares é uma solução tecnológica bastante consolidada nas indústrias ao longo do tempo, no entanto, muitos usuários desconhecem ou não levam em consideração que tais elementos armazenadores de energia liberam gás hidrogênio em quantidade tal que em um ambiente fechado sem ventilação pode tornar a atmosfera do local em potencialmente explosiva. Em função desta condição, as salas destinadas para uso de baterias devem ser adequadamente ventiladas de forma que evite o acúmulo de bolsões de gás hidrogênio (BHATIA, 2015).

Na engenharia de projetos, muitos profissionais costumam subestimar a taxa de emissão de gás hidrogênio pelas baterias sendo comum ter um memorial de cálculo demonstrando que não há perigo ou então não existe o documento, pois ao consultar os catálogos de fornecedores não são encontradas informações oficiais sobre a taxa de emissão do gás durante a operação do equipamento. A conduta profissional adequada a ser seguida é identificar de forma bastante criteriosa as condições em que o risco é mais alto e especificar o sistema de ventilação de forma que proteja o ambiente mantendo o nível inferior de explosividade sempre abaixo do permitido (BHATIA, 2015).

De acordo com Sherique (2005), o momento mais crítico para uma sala de baterias corresponde ao regime de recarga sendo nesta fase a ocorrência de maior geração de gás hidrogênio podendo causar explosões devido à falta de exaustão adequada e a inexistência de equipamentos à prova de explosão. De acordo com a experiência do perito, vários incidentes de explosão em sala de baterias comprovam este fato. Muitos estudos de avaliação de risco realizados em indústrias e complexos comerciais demonstraram que as não-conformidades mais comuns encontradas são devidas à exaustão da sala de baterias, devido aos equipamentos de ventilação se encontrarem desligados ou sendo utilizados em conjunto com a exaustão de cozinha e banheiros através de dutos comuns ou ainda pela falta de exaustores em salas totalmente fechadas sem nenhum tipo de ventilação para renovação de ar onde as baterias do tipo VRLA estavam instaladas em funcionamento.

A ventilação é uma ferramenta importante no ambiente industrial que pode ser usada para muitas aplicações sendo considerada como a medida mais importante quando se deseja ter o controle dos agentes químicos no ambiente com a presença do trabalhador, pois não prejudica o processo produtivo e permite ao mesmo tempo uma boa eficiência na captura de poluentes. Uma outra aplicação é o controle de atmosferas potencialmente explosivas reduzindo a concentração dos gases e vapores potencialmente inflamáveis à níveis seguros (USP, 2021).

## 1.1. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é o dimensionamento de um sistema de ventilação geral diluidora de uma sala de baterias de um Centro de Operações Integrada (COI) de acordo com as melhores práticas recomendadas da área da ventilação industrial voltada para o controle de atmosferas potencialmente explosivas de forma a reduzir a concentração de substâncias inflamáveis a níveis adequados evitando possíveis incêndios e explosões. Neste estudo também abordaremos as informações técnicas necessárias para o cálculo da taxa de emissão de gás H<sub>2</sub> emanado pelas baterias.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A função de um sistema de energia ininterrupta é prover energia confiável para os sistemas críticos através do armazenamento de energia em baterias, porém é necessário o estudo da ventilação do ambiente e em muitos casos o projeto não contempla este quesito ou verifica-se que não está bem dimensionando. A ventilação com vazão de ar muito acima do desejável ocasiona o aumento da temperatura da sala acima de 25°C em regiões quentes e a ventilação abaixo da vazão mínima de ar faz surgir atmosfera potencialmente explosiva no recinto. Em indústrias de pequeno e médio porte a atenção devida para o sistema de ventilação ocorre geralmente após o acidente. A operação de baterias VRLA em salas de pequeno porte sem ventilação, a temperatura média ambiente acima de 25°C no local e uma quantidade razoável de recargas por mês constituem a combinação perfeita para um incêndio ou explosão.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. A VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

O ar limpo sem contaminantes no ambiente de trabalho das fábricas é uma necessidade imprescindível para a saúde do trabalhador e para o desenvolvimento das suas atividades diárias de acordo com a ACGIH (1998). Desde a revolução industrial até os dias de hoje ocorreram muitas evoluções tecnológicas no ambiente fabril e cada vez mais são utilizadas novas substâncias e compostos químicos nos processos produtivos sendo que muitos destes são altamente tóxicas. A geração de particulados, gases, vapores ou misturas liberadas por substâncias tóxicas podem ultrapassar os níveis de segurança do ser humano. Uma outra aplicação da ventilação observada nas indústrias é o controle da temperatura do ambiente de trabalho, pois valores excessivos podem causar insegurança e desconforto. A importância de uma ventilação bem projetada para substâncias tóxicas permite atingir uma solução bastante eficaz para a proteção do trabalhador quando não é possível efetuar outra medida de controle como a substituição do produto químico. Uma outra aplicação frequentemente atribuída ao sistema de ventilação é o controle de odores. A ventilação tem um papel muito importante para as indústrias pois é uma medida de controle de engenharia que auxilia à higiene ocupacional na redução ou na eliminação dos riscos à saúde do trabalhador e aumento do desempenho das atividades diárias.

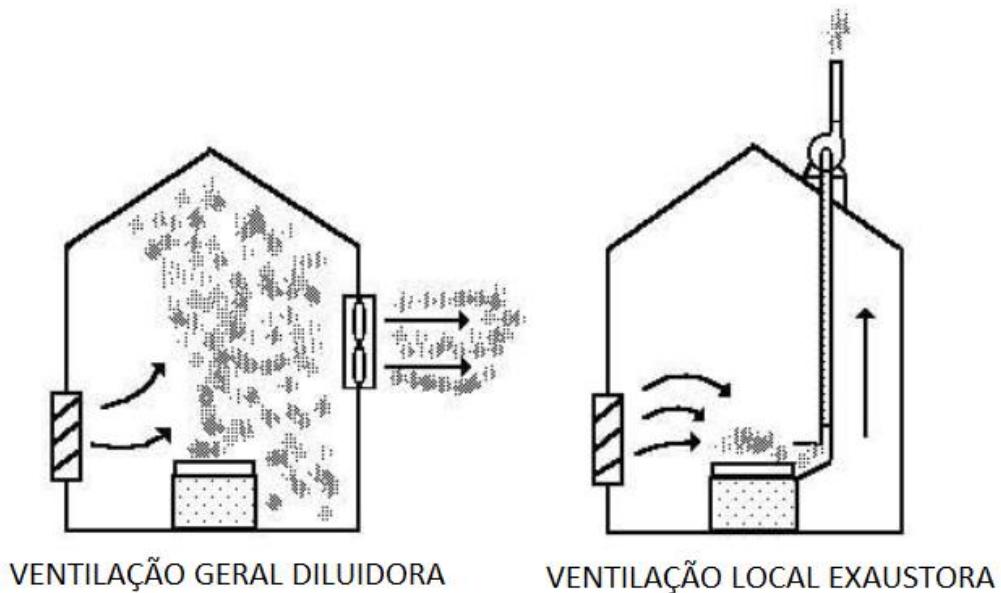
A concepção adequada de um sistema de ventilação desde o projeto com a sua construção e operação de acordo com as melhores técnicas de engenharia disponíveis permitem, com segurança, a diluição do contaminante ou a retirada de substâncias tóxicas ou incômodas do ambiente de forma que os limites de tolerância estabelecidos não sejam ultrapassados. O controle da concentração de substâncias explosivas ou inflamáveis abaixo do LIE em ambientes fechados ou espaços confinados é uma outra aplicação bastante comum da ventilação atendendo agora o aspecto de segurança contra acidentes ou a perda de bens materiais (USP, 2021).

A ventilação é um processo que está baseado na movimentação intencional e planejada do ar em um ambiente com a finalidade de atingir um objetivo previamente

definido. A movimentação do ar pode ser realizada através de meios naturais ou mecânicos. A ventilação natural ocorre devido a diferença de pressão entre as partes internas e externas de uma edificação onde o ar circula através de aberturas devido à força dos ventos ou pela diferença de densidade entre as camadas de ar em função da temperatura dentro e fora do ambiente (USP, 2021).

A ventilação mecânica é aquela que ocorre a movimentação do ar por meios mecânicos e pode ser classificada em ventilação geral diluidora (VGD) e ventilação local exaustora (VLE). De forma diferente da ventilação natural que apresenta um caráter intermitente e espontâneo, a ventilação mecânica possui um funcionamento constante quando acionada. A VGD tem como característica principal a mistura de ar novo ao ambiente diluindo os contaminantes antes de serem retirados do recinto e a VLE tem como característica principal a captação dos contaminantes no local onde são gerados evitando que se espalhem pelo ambiente (COSTA, 2005).

Figura 1 – Ventilação geral diluidora e ventilação local exaustora

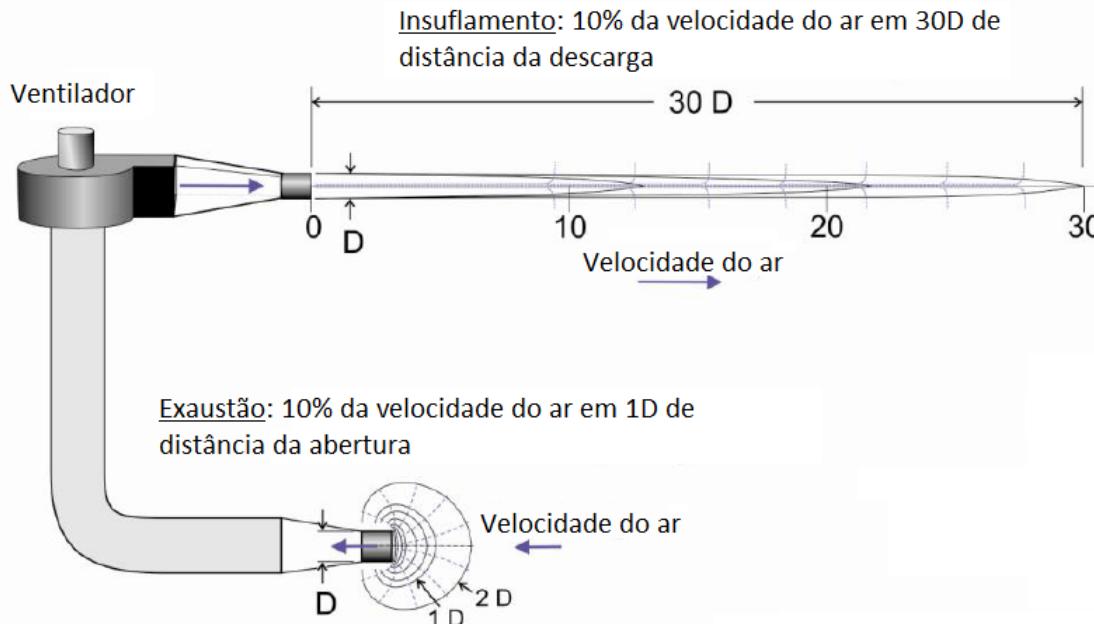


Fonte: USP, 2021.

As características do fluxo de ar no insuflamento e na exaustão são bem distintas em relação a velocidade e direção do ar. No insuflamento, a velocidade do ar se mantém

aproximadamente em 10% da velocidade da abertura do duto à uma distância de 30 vezes do diâmetro de abertura e o sentido é unidirecional. Na exaustão, a velocidade do ar se mantém aproximadamente em 10% da velocidade da abertura do duto à uma distância de uma vez do diâmetro de abertura e o sentido é omnidirecional, ou seja, temos uma forma quase esférica conforme a figura 2. Este princípio demonstra que nos casos de aplicação da VLE é necessário que o captor seja projetado para ficar o mais próximo possível da fonte geradora de poluente (NIOSH, 2012).

Figura 2 – Efeito da insuflação e da exaustão na velocidade do ar



Fonte: NIOSH, 2012.

Os contaminantes no estado gasoso podem ser classificados em gases verdadeiros ou vapores e apresentam uma grande capacidade de difusão no ambiente onde são gerados, ou seja, conseguem se misturar rapidamente e de maneira uniforme em comparação as partículas. Em função desta característica de facilidade de mistura do contaminante no estado gasoso, a ventilação geral diluidora é recomendada apenas para estes poluentes que se misturam de forma eficiente com o ar do ambiente sendo alcançados pelos efeitos de insuflamento e diluição (USP, 2021).

### 2.1.1. Ventilação geral natural devido a força dos ventos

De acordo com a USP (2021), uma edificação construída com aberturas para entrada e saída de ar com o objetivo de aproveitar a incidência dos ventos da região para ventilação natural do ambiente pode ter a sua vazão calculada, considerando uma determinada velocidade na abertura de entrada, pela seguinte equação:

$$Q_V = C_E \times A \times V \quad (1)$$

Onde:

$Q_V$  :Vazão disponível devido à força dos ventos em  $m^3/s$ ;

$C_E$  :Coeficiente de entrada da abertura;

A: Área da abertura em  $m^2$ ;

V: Velocidade em m/s.

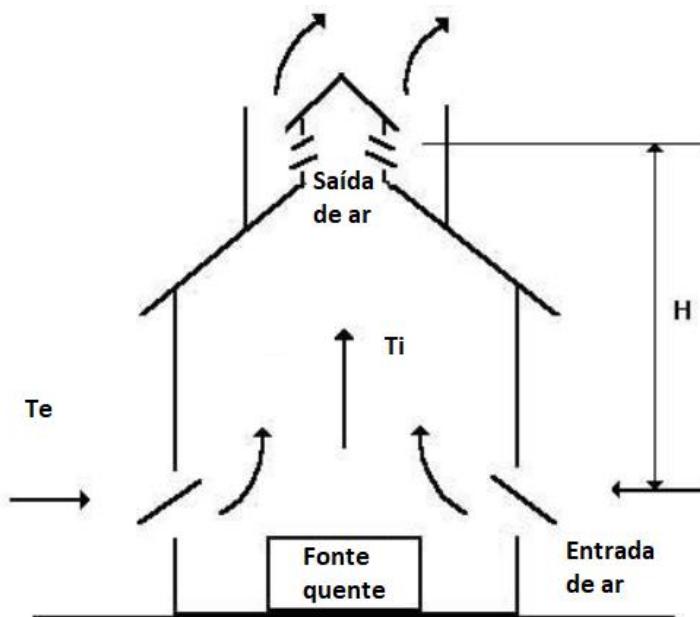
Para este caso específico deve-se considerar que as aberturas de entrada e de saída tenham uma área total livre de mesmo valor. O coeficiente de entrada da abertura pode variar de 0,5 à 0,6 para ventos perpendiculares e de 0,25 à 0,35 para ventos diagonais em relação à abertura. A velocidade considerada para o cálculo vai depender da velocidade do vento na região que poderá ser obtida de uma estação meteorológica geralmente em locais mais abertos como aeroportos. Com este parâmetro devemos efetuar correções devido a existência de estruturas existentes no entorno sendo também recomendado utilizar como referência o valor da metade da velocidade média do período mais desfavorável durante o ano (USP, 2021).

Para o projeto da ventilação natural usando a força dos ventos devemos adotar premissas básicas como instalar as aberturas de entrada de ar no lado da edificação mais voltada para o vento, instalar as aberturas de saída no lado da edificação menos voltada para o vento, especificar as aberturas de entrada e saída com áreas iguais, construir as aberturas de saída em cotas mais altas que as aberturas de entrada para aproveitar o efeito chaminé e por fim jamais obstruir as aberturas de ar da edificação.

### 2.1.2. Ventilação geral natural devida ao efeito térmico

Um ambiente com carga térmica interna (pessoas ou equipamentos) geralmente apresenta uma temperatura do ar interno maior que a do externo ocasionando naturalmente um movimento ascendente do ar da parte inferior para a parte superior. As diferenças de pressão conseguida com o efeito térmico são bem menores do que as obtidas devido a força dos ventos, no entanto, é uma técnica mais segura devido a continuidade dos efeitos do aquecimento em relação aos ventos (COSTA, 2005).

Figura 3 – Ventilação geral natural por efeito térmico



Fonte: USP, 2021.

De acordo com a USP (2021), a vazão de ar devido ao efeito térmico considerando aberturas de mesma área pode ser calculada de acordo com a equação simplificada:

$$Q_T = 430 \times A \times \sqrt{H \times \Delta t} \quad (2)$$

$Q_T$ : Vazão disponível devido ao efeito térmico em  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

A: Área da menor abertura de ar de entrada ou de saída em  $\text{m}^2$ ;

H: Diferença de cota entre as aberturas médias de saída e entrada em m;

$\Delta t$ : Diferença da temperatura interna (média) e a temperatura externa em  $^\circ\text{C}$ .

### 2.1.3. Ventilação geral diluidora mecânica

A VGD mecânica é aplicada na diluição de substâncias que são emitidas dentro do ambiente com a finalidade de proteger a saúde do trabalhador e fazer a prevenção de riscos de explosão e incêndio. Segundo a USP (2021), a toxicidade dos contaminantes para o uso de VGD não deve ser muito alta para evitar a ocorrência de concentrações acima do tolerável, pois o resultado depende da efetividade da diluição do composto químico no ar do ambiente. Em função do risco à saúde se recomenda o projeto de VGD para ambientes com geração de substâncias moderadamente tóxica ( $100 \leq TLV \leq 500 \text{ ppm}$ ) e levemente tóxica ( $TLV > 500 \text{ ppm}$ ). Para substâncias altamente tóxicas ( $TLV < 100$ ) recomenda-se utilizar o sistema VLE já que o poluente é captado rapidamente na fonte de geração sem que o trabalhador inale o contaminante.

De acordo com Pimentel (2020), a VGD mecânica pode ser projetada para operar basicamente em duas configurações de acordo com as características do ambiente. No primeiro caso, a VGD é obtida por insuflação mecânica com a saída natural do ar pelas aberturas criando uma pressão positiva no ambiente. A movimentação de ar nas aberturas ocorre no sentido de dentro para fora, então a pressurização positiva pode ser aplicada para evitar que contaminantes existentes na vizinhança adentrem o recinto. É importante que o fornecimento de ar fresco para a insuflação mecânica seja realizado através de captação distante de possíveis fontes poluentes. Uma aplicação comum para a VGD com insuflação mecânica refere-se aos espaços confinados onde é possível direcionar ar limpo para permitir a diluição de contaminantes de forma mais rápida usando a turbulência do jato de ar. A redução da carga térmica de superfícies aquecidas e o aumento do conforto térmico também são duas aplicações comuns. Em outra configuração, a VGD é obtida por exaustão mecânica com entrada natural do ar pelas aberturas criando uma pressão negativa. A movimentação de ar nas aberturas ocorre no sentido de fora para dentro, então a pressurização negativa pode ser aplicada para coletar contaminantes dispersos no ambiente com a entrada de ar limpo pelas aberturas. Observando o efeito do alcance de captura da exaustão mecânica, os projetistas ao especificarem este tipo de configuração devem ter uma atenção maior sobre a eficácia do sistema de ventilação na existência de fontes poluentes distribuídas por todo o ambiente já que o alcance de captação é bastante limitado.

De acordo com a USP (2021), é possível calcular a vazão mínima requerida para diluição de gases e vapores visando não ultrapassar o limite recomendado para proteção à saúde desde que seja obtida adequadamente as taxas de emissão dos poluentes. A vazão para o dimensionamento do sistema VGD é obtida pela equação:

$$Q = \frac{G}{M} \times 24,1 \times \frac{10^6}{LT} \times K \quad (3)$$

Sendo:

Q: Vazão mínima requerida de ar necessária à diluição ( $m^3/h$ );

G: Taxa de geração do poluente (kg/h);

M: Massa molecular do poluente (kg/kg.mol);

24,1: Volume em  $m^3$  ocupado por 1 kg mol de qualquer gás a 21°C e 1 atm.;

LT: Limite de tolerância do poluente considerado (ppm);

$10^6$ : Fator de conversão do LT de ppm para partes por milhão;

K: Fator de efetividade da distribuição do ar. Em geral varia de 1,5 a 10 conforme a qualidade de distribuição do ar no ambiente em função das condições de entrada e saída do ar e da localização da fonte de emissão de poluentes.

De forma similar à proteção à saúde é possível calcular a vazão mínima requerida para diluição de gases e vapores potencialmente explosivos para evitar incêndio e explosão desde que seja obtida adequadamente a taxa de emissão do poluente e o seu respectivo LIE. A vazão para o dimensionamento do sistema VGD é obtida pela equação:

$$Q = \frac{G}{M} \times 24,1 \times \frac{10^2}{LIE} \times \frac{f_s}{B} \quad (4)$$

Sendo:

LIE: Limite inferior de explosividade (%);

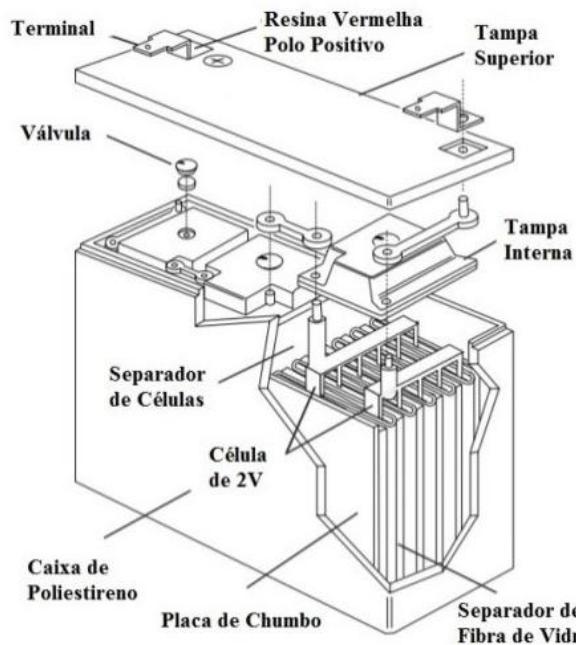
$f_s$ : Fator de segurança igual a 4 para 25% do LIE ou igual a 5 para 20% do LIE;

B: Fator de temperatura igual a 1 ( $t < 120^\circ C$ ) ou igual a 0,7 ( $t > 120^\circ C$ ).

## 2.2. A FONTE GERADORA DE POLUENTE

O acumulador elétrico é um dispositivo que pode transformar energia química em energia elétrica e vice-versa. O elemento é um conjunto de duas placas ou de dois grupos de polaridades opostas. O grupo é um conjunto de placas de mesma polaridade e destinadas ao mesmo elemento. A bateria (de acumuladores) é o conjunto de elementos interligados, ou seja, é um conjunto de células unitárias ou acumuladores elétricos que se somam para gerar maiores tensões e correntes elétricas. A bateria permite receber e acumular energia, armazená-la e depois restituir a energia recebida. É aplicada no fornecimento de energia de sistemas críticos no caso da falha da fonte principal (CHAGAS, 2014).

Figura 4 – Componentes de uma bateria chumbo-ácida



Fonte: Arquivo Pessoal

As baterias de acumuladores são classificadas de acordo com os elementos e são divididas em células primárias que produzem a energia através de uma reação eletroquímica irreversível e células secundárias que podem ser recarregadas por uma fonte elétrica externa e depois devolver para o sistema a energia armazenada. As

baterias secundárias tem uma maior capacidade e podem ser carregadas e recarregadas inúmeras vezes. Outra classificação das baterias se refere ao material ativo que pode ser chumbo-ácido, tecnologia mais difundida, ou alcalino níquel-cádmio sendo este o material mais conhecido. Há também a classificação das baterias quanto ao uso final do dispositivo. Quando à aplicação podem ser separados em acumuladores estacionários, geralmente concebidos para a falta de energia de sistemas críticos não embarcados, em acumuladores tracionários, que são aqueles destinados à movimentação de veículos como empilhadeiras e carros elétricos e por fim, os acumuladores de arranque, que se destinam à partida do motor de combustão em veículos como automóveis, ônibus e caminhões. De acordo com o modelo construtivo, as baterias estacionárias ainda podem ser classificadas em modelos do tipo VLA considerados de primeira geração e do tipo VRLA de segunda geração (CHAGAS, 2014). As baterias são classificadas conforme o tipo de células, material ativo, aplicação final e família como podemos observar no quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das baterias

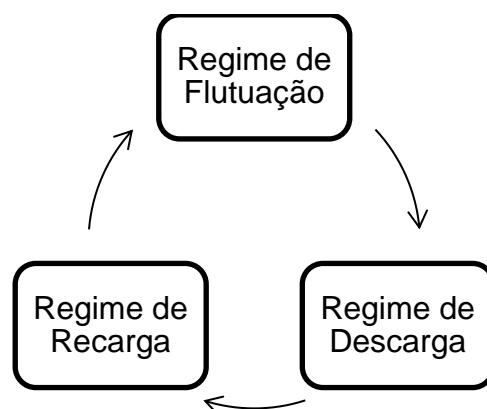


Fonte: Arquivo Pessoal

As baterias secundárias possuem três modos de operação durante a sua vida útil: regime de flutuação, regime de descarga e o regime de recarga. O regime de flutuação é o modo mais comum de operação representando a maior parte do tempo e tem como características a baixa emissão de gás H<sub>2</sub> pelas baterias o funcionamento normal da fonte principal de energia elétrica. O regime de descarga é o modo de operação menos frequente e ocorre na falta do suprimento de energia elétrica principal

fazendo com que a bateria desempenhe a função para a qual foi concebida que é fornecer energia reserva para os sistemas críticos. O modo de operação de recarga é o período que a fonte de energia elétrica principal voltou ao normal sendo necessário devolver a energia retirada da bateria para um novo ciclo operacional. No regime de recarga ocorre a maior geração de gás H<sub>2</sub> podendo ser da ordem de dez vezes a taxa de emissão em relação ao regime de flutuação.

Figura 5 – Regimes de operação de bateria secundária



Fonte: Arquivo Pessoal

O cálculo da ventilação mínima requerida de um sistema de ventilação para sala de baterias exige inicialmente o conhecimento adequado da taxa de emissão do poluente, porém, tais valores não são facilmente encontrados nos catálogos de fabricante de baterias sendo necessário consultar as normas técnicas.

Quadro 2 – Normas sobre a taxa de emissão de H<sub>2</sub>

Código	Título	Data
ABNT-NBR-15389	Bateria chumbo-ácida estacionária regulada por válvula – Instalação e montagem.	2006
ABNT-NBR-13231	Proteção contra incêndio em subestações elétricas.	2015
IEC-62485-2	Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 2: Stationary batteries.	2010

Fonte: Arquivo Pessoal

De acordo com a ABNT (2006), os elementos regulados por válvulas podem liberar gases e as baterias apresentam risco de explosão. Os requisitos de projeto de sala de baterias exigem um local limpo, seco, ventilado e livre de raios solares com temperatura ambiente ideal de referência em torno de 25 °C. Em regime de flutuação, as baterias VRLA liberam pequenas quantidades de hidrogênio, porém em regime de recarga pode ocorrer a produção de H<sub>2</sub> a uma taxa máxima de  $1,27 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  por corrente (A) por elemento à 25 °C e 760 mmHg. Para temperaturas acima de 25 °C ocorre o aumento de produção de gás explosivo, desta forma o local não deve ser totalmente fechado para permitir a troca de ar evitando o acúmulo de H<sub>2</sub>, pois em níveis acima de 3,8% de concentração o ambiente torna-se potencialmente explosivo.

De acordo com a ABNT (2015), durante a vida operacional das baterias ocorre o vazamento de gases por todas as células do monobloco devido a eletrólise da água com o risco de explosão da instalação se a concentração de H<sub>2</sub> no ar for maior que 4%. Como critério de segurança a ventilação da sala de baterias deve limitar a concentração de H<sub>2</sub> em até 1% do volume total do recinto. Para as subestações elétricas a taxa máxima de emissão de hidrogênio pelas baterias é de 0,127 mL/s por corrente de carga (A) por célula à 25° C e 760 mmHg. A ventilação mecânica deve funcionar de forma contínua e garantir o volume de ar necessário a diluição. O carregador de baterias deve ter tecnologia que evite falhas de funcionamento para evitar a produção de H<sub>2</sub> acima da capacidade de diluição do sistema de ventilação.

O valor de emissão de gás hidrogênio durante o processo de eletrólise de acordo com a “Lei de Faraday” é de 0,42 L/h por 1 Ah de energia fornecida por célula à 0 °C e a 760 mmHg o que quer dizer que esta taxa é igual à  $1,27 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0,42\text{L}/3600\text{s} \times 1,095 \times 1\text{m}^3/1000\text{L}$ ) considerando que devemos multiplicar 0,42 L/h pelo fator de 1,095 devido à correção de temperatura para 25 °C. Para o cálculo da taxa de emissão é possível multiplicar pela corrente em (A) obtida experimentalmente no campo ou usar valores padronizados pelo quadro 3 que levam em consideração a capacidade nominal (C<sub>RT</sub>) em Ah da bateria e o seu tipo construtivo como chumbo-ácida VLA, chumbo-ácida VRLA ou alcalina de níquel-cádmio. A capacidade nominal de uma bateria é a sua característica principal e está relacionada a quantidade de energia armazenada. Os monoblocos de maior capacidade em Ah emitem uma maior

quantidade de H<sub>2</sub> em comparação aos de menor capacidade. O sistema de ventilação deve ser dimensionado para a maior taxa de emissão comparando as informações de correntes medidas no campo e os valores padronizados em norma.

Quadro 3 – Corrente de flutuação e de recarga de baterias VLA, VRLA e NiCd

Parâmetro	Baterias	Baterias	Baterias
	VLA	VRLA	NiCd Ventiladas
Corrente I <sub>FLUT</sub> (A)	0,005 x C <sub>RT</sub> (Ah)	0,001 x C <sub>RT</sub> (Ah)	0,005 x C <sub>RT</sub> (Ah)
Corrente I <sub>CARGA</sub> (A)	0,020 x C <sub>RT</sub> (Ah)	0,008 x C <sub>RT</sub> (Ah)	0,050 x C <sub>RT</sub> (Ah)

Fonte: Arquivo Pessoal

### 2.3. VENTILAÇÃO DE SALA DE BATERIAS PELA IEC-62485-2

A IEC é uma organização de padronização internacional para as áreas de tecnologia elétrica e eletrônica com sede em Genebra na Suíça. O Brasil é um país membro da IEC e tem realizado um movimento de padronização das normas brasileiras seguindo os requisitos das normas internacionais. As normas “NBR-IEC” indicam que a ABNT fez parte da comissão de estudos de desenvolvimento, traduz e incorpora para uso em todo o território brasileiro. Apesar de não ser uma norma “NBR-IEC”, muitas empresas do setor de energia e petróleo fazem referência as séries da norma IEC-62485 sobre os requisitos de segurança de baterias secundárias e suas instalações.

Quadro 4 – IEC-62485-Series

Título		Data
Parte 1	Informação geral de segurança	2015
Parte 2	Baterias estacionárias	2010
Parte 3	Baterias tracionárias	2014
Parte 4	Baterias chumbo-ácidas VRLA para equipamentos portáteis	2015

Fonte: Arquivo Pessoal

A parte 2 da norma IEC-62485-2 aborda a ventilação em salas de baterias para evitar o risco de incêndio e explosão. De acordo com a IEC (2010), os requisitos de cálculo para a ventilação têm como objetivo manter a concentração do H<sub>2</sub> abaixo de 4% do LIE assim como prescrito nas normas ABNT. A sala de baterias é considerada segura quando a ventilação natural ou mecânica consegue manter a concentração abaixo do limite. A mínima vazão de ar requerida para a ventilação é dada pela equação:

$$Q = v \times q \times s \times n \times I_{FLUT/CARGA} \quad (5)$$

Onde:

Q: Vazão mínima requerida de ar necessária à diluição (m<sup>3</sup>/h);

v: Fator de diluição do hidrogênio igual a 24 (100%- 4%÷4%);

q: 0,42 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/h a 0°C (para 25°C precisa ser multiplicado por 1,095);

s: fator de segurança igual a 5;

n: número de células ou elementos de todos os monoblocos;

I<sub>FLUT/CARGA</sub>: Corrente de carga em regime de flutuação ou de recarga em ampère devendo ser calculado de acordo com o quadro 3;

A ventilação natural deve ser preferencialmente adotada para atender os requisitos mínimos de vazão de ar e não sendo possível deve ser implementada a ventilação mecânica de acordo com os requisitos da IEC-62485-2. A sala de baterias ou compartimento fechado deve ser projetado com abertura de entrada e saída de ar para permitir o fluxo de ar pelo mecanismo da ventilação natural. Considerando como premissa adotada uma velocidade de vento mínima de 0,1 m/s, a área livre das aberturas pode ser calculada pela seguinte equação:

$$A = 28 \times Q \quad (6)$$

Onde:

A: Área livre de abertura em cm<sup>2</sup>;

Q: Vazão mínima requerida de ar necessária à diluição (m<sup>3</sup>/h);

## 2.4. ARRANJO DA SALA DE BATERIAS

Os acumuladores VRLA são projetados e construídos com válvulas reguladoras para permitir o alívio de pressão interna devido aos gases formados no monobloco quando em operação para evitar danos. A recombinação dos gases deve ser garantida pelo fabricante com eficiência igual ou acima de 98% nas condições de 25 °C e 760 mmHg (ABNT, 2019). O gás H<sub>2</sub> é mais leve que o ar com uma densidade de 0,083 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, em torno de 14 vezes menor que a densidade do ar de 1,2 kg/m<sup>3</sup> com a tendência de se acumular em bolsões na parte superior dos ambientes.

O grau de diluição e a disponibilidade de ventilação são fatores importantes para o controle da dispersão e da persistência da atmosfera explosiva dentro de uma sala de baterias. A ventilação pode ser insuficiente para evitar a formação de atmosfera explosiva dependendo da taxa de liberação, mas não permite quando bem dimensionada que o gás potencialmente inflamável permanece acumulado continuamente no ambiente. Por outro lado, uma liberação de H<sub>2</sub> acima do previsto pelo projeto ou uma vazão de ar menor devido ao subdimensionando da ventilação em operação ocasiona um grau menor de diluição de acordo com a ABNT (2018).

De acordo com ABNT (2018, p. 19 e 20), são reconhecidos os níveis de diluição:

- a) Alta diluição: A concentração de atmosfera explosiva próxima da fonte de liberação reduz rapidamente e praticamente não persiste após cessar a liberação.
- b) Média diluição: A concentração é mantida resultando em um volume de atmosfera explosiva com limites definidos durante a liberação e o volume não persiste após cessar a liberação.
- c) Baixa diluição: Formação de concentração considerável de atmosfera explosiva enquanto ocorre a liberação ou o volume persiste após cessar a liberação.

As emissões fugitivas são vazamentos não intencionais de gases e vapores que ocorrem em compressores de gás, tubulações e vasos, ou seja, em muitos

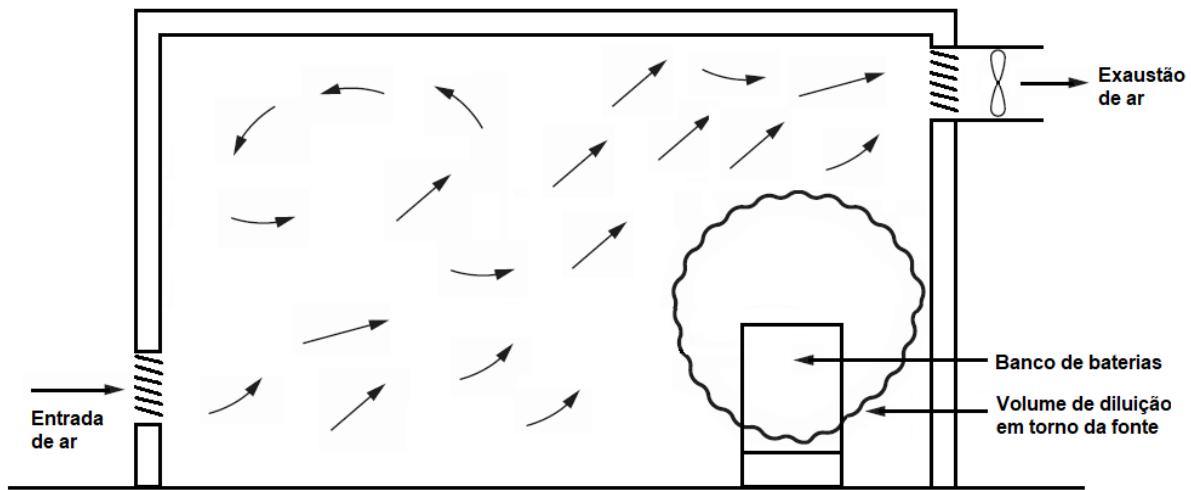
equipamentos pressurizados com fluido no estado gasoso. São liberações em pequenas quantidades da ordem de  $10^{-7}$  kg/s à  $10^{-9}$  kg/s que podem acumular ao longo do tempo em ambientes não ventilados gerando risco de explosão. É necessário algum tipo de ventilação para dispersão do gás em ambientes enclausurados que possuam emissões fugitivas, mesmo que o sistema de ventilação funcione apenas nos períodos críticos (ABNT, 2018). Os requisitos para equipamentos com emissões fugitivas têm similaridades com o ambiente de sala de baterias, pois acontece também emissões oriundas de equipamentos com uma taxa de emissão próxima.

De acordo com a IEC (2010) e ABNT (2015), os ambientes destinados para uso como sala de bateria devem possuir as aberturas e saídas de ar bem localizadas para aumentar a renovação de ar considerando as seguintes premissas básicas no projeto:

- a) Instalação de aberturas de ar preferencialmente em paredes opostas;
- b) Ao usar a mesma parede manter uma distância mínima de 2m de altura;
- c) Instalar a abertura de saída de ar de exaustão no ponto mais alto do recinto para evitar acúmulo de H<sub>2</sub>;
- d) O ar retirado do ambiente da sala de baterias deve ser enviado para a parte externa da edificação ao ar livre;
- e) Não instalar equipamentos elétricos como luminárias comuns no teto e principalmente acima do banco de baterias.

A eficácia de um sistema de ventilação para uma sala de baterias depende do arranjo e da escolha adequada da ventilação mecânica. Para este caso é recomendável usar um sistema ventilação geral diluidora por exaustão para a saída de ar na parte superior bem próximo ao teto e uma entrada de ar na parte inferior da parede oposta como ilustrado na figura 6. A área imediatamente próxima da fonte de liberação possui maior probabilidade de ter o limite inferior de explosividade acima de 4% para o H<sub>2</sub> e o grau de diluição do restante do ambiente depende do arranjo e da quantidade de trocas de ar. De qualquer forma, mesmo com uma grande taxa de renovação de ar por hora, é possível ocorrer uma recirculação de um volume parcial de ar contendo H<sub>2</sub> que não foi expulso para fora do recinto. Este pequeno volume de ar retroalimenta o volume de diluição da fonte aumentando consequentemente o LIE da sala como um todo gerando então uma condição perigosa que deve ser evitada (ABNT, 2018).

Figura 6 – Arranjo de sala de baterias



Fonte: Arquivo Pessoal

As unidades marítimas de produção de petróleo por serem uma atividade industrial muito específica e de risco possuem normas mais restritivas em relação as instalações elétricas. A ABNT-NBR-IEC-62485-6 de 2014 define o tipo de ambiente onde os bancos de baterias do tipo VRLA podem ser instalados em plataformas de petróleo de acordo com a potência de recarga da bateria. Quanto maior a potência de recarga, maior será a geração de gás H<sub>2</sub> no ambiente necessitando de um controle mais rígido. A ABNT-NBR-IEC-62485-7 de 2020 define que os critérios do cálculo de ventilação para sala de baterias a serem adotados no projeto são os requisitos prescritos na norma internacional IEC-62485-2 de 2010.

Quadro 5 – Enclausuramento de sala de baterias em plataformas de petróleo

Enclausuramento	Bateria VRLA		
	Potência de recarga (kW)	P>20	2<P<20
Sala de baterias dedicada	X	X	X
Estante aberta em sala de equipamentos elétricos		X	X
Compartimento separado dentro de um equipamento			X

Fonte: Arquivo Pessoal

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A demanda principal da operação e da manutenção do COI era viabilizar o aumento da confiabilidade de fornecimento de energia para as estações de trabalho (monitores) substituindo as diversas UPS individuais de pequeno porte e frágeis por um único equipamento centralizado de maior porte e robusto destinado para o uso industrial com requisitos de construção mais rigorosos. Foi analisada pela equipe responsável a melhor alternativa e foi especificado o equipamento mais adequado para esta demanda bem como foram detalhadas em projeto as modificações necessárias para a instalação elétrica, no entanto, o local onde seria instalado o banco de baterias acabou se tornando um problema crítico de segurança, tendo em vista que as baterias emitem gás hidrogênio quando em funcionamento fazendo parte de um sistema ininterrupto de energia.

Uma pequena sala de equipamentos de tecnologia da informação localizada dentro do COI ao lado da entrada principal do prédio foi sugerida pelas equipes de operação e manutenção como o único local disponível para ser instalada a nova UPS e seu banco de baterias, porém este espaço não foi inicialmente previsto para receber equipamentos elétricos que emitem gás H<sub>2</sub> de forma contínua, pois era um ambiente totalmente fechado apenas com um difusor de ar com sistema de ventilação precário.

Inicialmente foi realizada uma visita de campo para uma inspeção visual da sala disponibilizada para avaliar as condições e ao mesmo tempo procurar outras alternativas. Por outro lado, iniciou-se a discussão sobre a necessidade ou não de ventilação no ambiente diante do uso das baterias VRLA que apresentam baixa emissão quando climatizadas à temperatura de 25°C.

Houve uma dificuldade inicial para determinar a taxa de emissão do poluente para o conjunto de baterias por não ser uma questão simples, porém vencida esta etapa, o dimensionamento da ventilação foi executado de acordo com as melhores práticas recomendadas de ventilação industrial comparando sempre o resultado com a norma internacional IEC para confrontar os resultados e escolher a solução mais conservativa do ponto de vista da segurança. Logo em seguida, foi especificado um sistema de ventilação geral diluidora compatível com os requisitos necessários.

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

As instalações industriais com operação contínua de plantas químicas, de refinarias de petróleo, de unidades de processamento de gás e plataformas de produção possuem um ambiente único para suas operações de forma centralizada para supervisão, controle e monitoramento denominado de Centro de Operações Integradas (COI). É um ambiente que faz o acompanhamento em tempo real dos processos de produção de petróleo e escoamento de óleo e gás permitindo visualizar os parâmetros de produção de centenas de poços de petróleo distribuídos remotamente em uma extensa área geográfica acima de 150 km<sup>2</sup>.

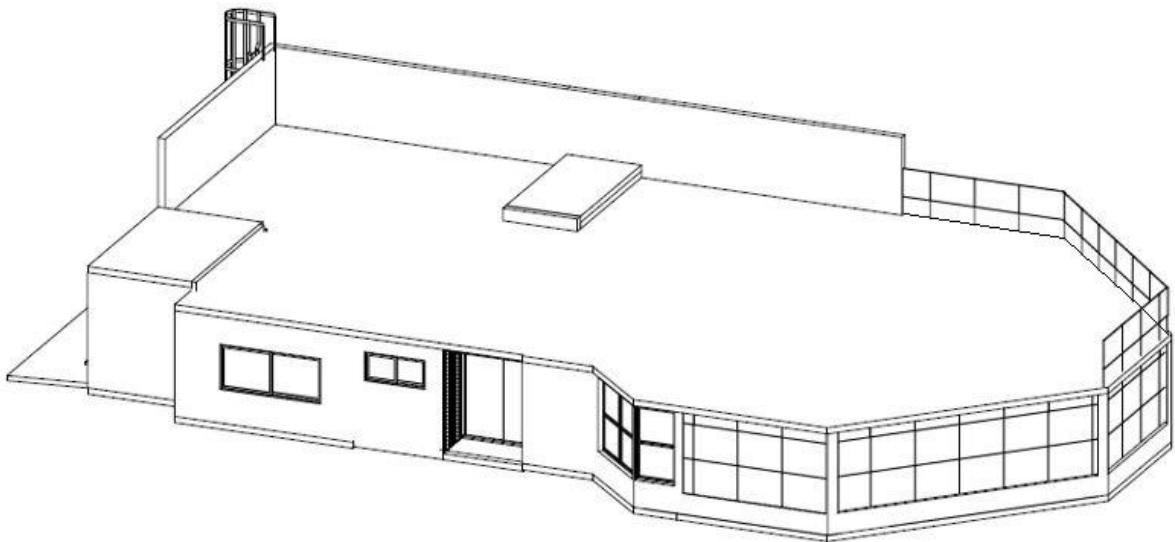
Figura 7 – Automação de poço de petróleo terrestre



Fonte: Arquivo Pessoal

Os poços de petróleo possuem uma concepção padronizada de comunicação onde as informações são enviadas e recebidas via rádio para o COI localizado na base administrativa da empresa. O uso de tecnologia de rádio é muito útil em ambientes de difícil acesso como os poços de petróleo terrestres e pode transmitir informações em situações de longa distância. A área construída do COI é de aproximadamente 270m<sup>2</sup> possuindo nas suas dependências a sala de controle, a sala da supervisão, a sala de equipamentos de TI, a sala multiuso, a sala de administração, os vestiários e os banheiros.

Figura 8 – Arquitetura externa do COI



Fonte: Arquivo Pessoal

A sala de equipamentos de tecnologia da informação sugerida para abrigar a UPS e o banco de baterias possui uma área em torno de 10m<sup>2</sup> e um volume de 30m<sup>3</sup> de acordo com as medições efetuadas em campo: 2m de largura, 5m de comprimento e 3m de altura. Foi observado durante a visita técnica que o recinto já possuía no seu interior armários de servidores de TI em funcionamento. No teto próximo à porta encontramos um difusor do sistema de renovação de ar do COI que de acordo com o projeto original possuía uma capacidade de 50m<sup>3</sup>/h de insuflamento através de dutos e ventilador centrífugo de captação de ar externo. Este sistema usualmente encontra-se inoperante ou desligado, então consideramos para este caso crítico de emissão de gás H<sub>2</sub> um sistema de ventilação com exaustão e tomada de ar externo independente.

Figura 9 – Área interna da sala de equipamentos de TI



Fonte: Arquivo Pessoal

A área externa da sala de TI tem uma janela que permite a incidência de luz solar o que não é recomendado para baterias chumbo-ácidas em operação. Esta janela deverá ser retirada na implementação da ventilação geral diluidora e o exaustor do sistema VGD deverá ser implantado nesta parede para retirar os poluentes internos.

Figura 10 – Área externa da sala de equipamentos de TI



Fonte: Arquivo Pessoal

O banco de baterias que será instalado com a UPS pode ser visualizado na figura 11 na fase de testes antes de ser instalado no local definitivo. O desenho de fabricação do equipamento encontra-se no anexo B.

Figura 11 – Banco de baterias



Fonte: Arquivo Pessoal

O banco de baterias possui 12V de tensão nominal por monobloco, 150 Ah de capacidade nominal ( $C_{RT}$ ), 10 monoblocos em série e 4 horas de autonomia. As baterias originais fornecidas foram substituídas por baterias novas em 2020.

Figura 12 – Informações do invólucro da bateria



Fonte: Arquivo Pessoal

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CÁLCULO DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA

Após a visita de campo para coleta das informações e avaliação da documentação do fabricante das baterias iniciamos o cálculo da ventilação de acordo com as práticas recomendadas sendo a primeira dificuldade encontrada foi a determinação da taxa de emissão de gás hidrogênio em Kg/h. Os projetistas procuram os catálogos dos fabricantes de bateria para obter informações, porém a documentação geralmente não contém dados suficientes sobre à emissão de H<sub>2</sub> e induzem ao erro, pois apenas indicam que ocorrem emissões desprezíveis de gases à 25°C sugerindo que ambientes com ocupação humana podem abrigar baterias. Neste caso temos um erro, pois o fabricante considera que o projeto da edificação segue os critérios de ventilação para a renovação mínima que atende ao ser humano de 25m<sup>3</sup>/h de troca de ar por pessoa no ambiente, só que, na prática muitas empresas não atendem esta condição.

Após o insucesso dos catálogos de fabricante, iniciou-se à consulta as normas de fabricação e de instalação das baterias para verificar como calcular a taxa de emissão. Desta forma, consultando as normas ABNT sobre o tema, obtemos um valor padrão de emissão de  $1,27 \times 10^{-7}$  m<sup>3</sup>/s multiplicado pela corrente de flutuação ou corrente de recarga pelo número de monoblocos do banco de baterias. Para a conversão da taxa de emissão em m<sup>3</sup>/s para kg/h foi usado a densidade do gás H<sub>2</sub> de 0,083kg/m<sup>3</sup> e a multiplicação por 3600 segundos sendo equivalente a 1 hora. A corrente de flutuação I<sub>FLUT</sub> e corrente de recarga I<sub>CARGA</sub> do banco baterias foi medida em campo sendo encontrado os valores de 0,24A e 2,4A, respectivamente.

Quadro 6 – Cálculo da emissão de H<sub>2</sub> em kg/h

Regime	Memória de cálculo $(1,27 \times 10^{-7} \times I_{FLUT/CARGA} \times 6 \times 10 \times 0,083)$	Emissão H <sub>2</sub>	Emissão H <sub>2</sub>
		(kg/s)	(kg/h)
Flutuação	$1,27 \times 10^{-7} \times 0,24 \times 6 \times 10 \times 0,083$	$1,51 \times 10^{-7}$	$5,46 \times 10^{-4}$
Recarga	$1,27 \times 10^{-7} \times 2,40 \times 6 \times 10 \times 0,083$	$15,17 \times 10^{-7}$	$54,6 \times 10^{-4}$

Fonte: Arquivo Pessoal

O cálculo da ventilação mínima requerida é obtido pela equação 3 informada na revisão de literatura. A taxa de geração de poluente ( $G=5,46 \times 10^{-4} / 54,6 \times 10^{-4}$ ) foi calculado no quadro 6 e os demais parâmetros como a massa molecular ( $M=2,02$ ), o limite inferior de explosividade ( $LIE=4\%$ ), o fator de segurança ( $fs=4$ ) e o fator de temperatura ( $B=1$ ) já foram determinados na equação 3. O resultado encontrado para a vazão mínima de ventilação está informado no quadro 7.

Quadro 7 – Cálculo da ventilação mínima requerida

Regime	Memória de cálculo ( $Q=G/M \times 24,1 \times 100/LIE \times fs/B$ )	Vazão $Q (m^3/h)$
Flutuação	$5,46 \times 10^{-4} / 2,02 \times 24,1 \times 100 / 4 \times 4 / 1$	0,65
Recarga	$54,6 \times 10^{-4} / 2,02 \times 24,1 \times 100 / 4 \times 4 / 1$	6,51

Fonte: Arquivo Pessoal

Os valores obtidos mostram que para a diluição do contaminante devemos ter uma vazão mínima de  $0,65 m^3/h$  para o regime de flutuação e de  $6,51 m^3/h$  para o regime de recarga. Estas vazões de ar podem ser convertidas para litros por hora, desta forma, temos  $650L/h$  para a flutuação e  $6510 L/h$  para a recarga. A proporção de ar de ventilação natural em relação ao contaminante gerado é aproximadamente de 100 para 1, ou seja, considerando o LIE de 4% da substância e o fator de segurança igual a 4, a liberação de gás  $H_2$  é de  $6,5L/h$  para o regime de flutuação e de  $65L/h$  para o regime de recarga segundo as metodologias de cálculo das normas técnicas.

O próximo passo para o dimensionamento do sistema é verificar se a ventilação natural consegue atender a vazão de ar calculada preferencialmente para o regime de flutuação. Considerando que no Nordeste a temperatura média anual de muitas regiões é acima de  $25^\circ C$ , então não podemos fazer o uso indiscriminado apenas da ventilação natural pois consequentemente exige maiores aberturas livres que pode prejudicar bastante a temperatura da sala de bateria VRLA que é climatizada. As aberturas de ar, dependendo da dimensão, pode elevar a temperatura prejudicando a vida útil da bateria e também ocasionando uma maior emissão de gás  $H_2$ .

Através da equação 1 para ventilação natural devido à força dos ventos e considerando a velocidade em 0,1m/s para usar o mesmo parâmetro da norma IEC-62485-2 foi obtida a área livre da abertura de entrada e saída que pode ser conseguida através de uma tomada de ar tipo veneziana. O coeficiente de entrada de 0,25 foi adotado para este estudo e os resultados estão no quadro 8 considerando a vazão mínima requerida (Q) apenas devida à força dos ventos e convertida para m<sup>3</sup>/s.

Quadro 8 – Cálculo da área da veneziana de ventilação natural

Regime	Memória de cálculo (A= Qv / (Ce x V))	Área livre (m <sup>2</sup> )	Área livre (cm <sup>2</sup> )	Área total (cm <sup>2</sup> )
Flutuação	1,81 x 10 <sup>-4</sup> / (0,25 x 0,1)	7,24 x 10 <sup>-3</sup>	72,4	145
Recarga	18,1 x 10 <sup>-4</sup> / (0,25 x 0,1)	72,4 x 10 <sup>-3</sup>	724	1450

Fonte: Arquivo Pessoal

A área livre de circulação de ar de uma abertura é a área por onde o ar pode circular livremente sem obstáculos e representa um percentual da área total do dispositivo. Para este estudo de caso foi adotado o percentual de área livre igual à 50% da área total conforme o quadro 8. Considerando este parâmetro a veneziana para tomada de ar deve ter uma área total mínima de 150 cm<sup>2</sup> para o regime de flutuação e de 1500cm<sup>2</sup> para o regime de recarga.

#### 4.2. CÁLCULO DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PELA IEC-62485-2

As salas de baterias que operam na indústria do petróleo em instalações em terra ou no mar possuem as mesmas características, então foi consultado os requisitos das normas ABNT-NBR-IEC-61892-6 e ABNT-NBR-IEC-61892-7 e foi descoberto que estas normas exigem o cálculo do dimensionamento da ventilação de sala de baterias de acordo com os requisitos da norma internacional IEC-62485-2. Inicialmente foi necessário calcular a corrente I<sub>FLUT</sub> e I<sub>CARGA</sub> das baterias VRLA obtidas através do quadro 3. As correntes foram obtidas substituindo o valor da capacidade nominal (C<sub>RT</sub>) de 150 Ah. Foi encontrado os valores de I<sub>FLUT</sub> igual à 0,15A e o valor de I<sub>CARGA</sub> igual à

1,20A. Foi usada a equação 5 com correção da temperatura para 25°C fazendo com que a taxa de emissão de H<sub>2</sub> aumentasse em 9,5% totalizando 0,46 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s.

Quadro 9 – Cálculo da ventilação mínima requerida pela IEC-62485-2

Regime	Cálculo (v x q x s x n x I <sub>FLUT/CARGA</sub> )	Q (m <sup>3</sup> /h)
Flutuação	24 x 0,46 x 10 <sup>-3</sup> x 5 x 60 x 0,15	0,49
Recarga	24 x 0,46 x 10 <sup>-3</sup> x 5 x 60 x 1,20	3,97

Fonte: Arquivo Pessoal

Os valores obtidos demonstram que para a diluição no regime de flutuação devemos ter uma vazão mínima de 0,49 m<sup>3</sup>/h e no regime de recarga devemos ter uma vazão mínima de 3,97 m<sup>3</sup>/h. Foi transformado os valores de vazão para litros sendo encontrado 490 L/h e 3970 L/h de ventilação mínima requerida para os regimes da bateria. Comparativamente aos valores calculados anteriormente podemos notar que a diferença se deve aos valores de corrente de carga da bateria para os regimes de flutuação e recarga, pois a emissão de H<sub>2</sub> depende diretamente da corrente elétrica.

Adotando a equação 6 podemos obter, conforme a norma IEC-62485-2, a área livre de ventilação das aberturas para garantir a ventilação natural mínima no recinto. Esta norma internacional recomenda o uso preferencial da ventilação natural e se não atender aos requisitos de vazão mínimo deve-se instalar a ventilação mecânica.

Quadro 10 – Cálculo da área livre de abertura pela IEC-62485-2

Regime	Cálculo (A=28 x Q)	Área livre (cm <sup>2</sup> )	Área grelha (cm <sup>2</sup> )
Flutuação	28 x 0,49	13,7	27
Recarga	28 x 3,97	111,1	222

Fonte: Arquivo Pessoal

Considerando os mesmos critérios anteriores, a área livre calculada resultou em uma área quatro vezes menor em relação aos resultados do quadro 8. Foi observado que a norma IEC-62485-2 é muito sucinta em relação a área livre das aberturas para a ventilação natural não demonstrando a equação com mais detalhes.

#### 4.3.ESPECIFICAÇÃO DE TOMADA DE AR E EXAUSTOR

O dimensionamento da sala de baterias foi elaborado de acordo com os resultados do quadro 8 considerando a ventilação natural para o regime de flutuação com uma ventilação mínima de  $0,65\text{m}^3/\text{h}$  e a ventilação mecânica por exaustor para o regime de recarga para uma ventilação mínima de  $6,5\text{m}^3/\text{h}$ . A parte inferior da parede que está voltada para a área externa foi escolhida para a construção da abertura através de uma tomada de ar do tipo veneziana com dimensões de 30cm x 10cm totalizando uma área livre de  $150\text{cm}^2$  que atende a área livre do quadro 8.

Figura 13 – Veneziana para tomada de ar



Fonte: Arquivo Pessoal

O exaustor para retirada do ar do ambiente foi selecionado para que não ter uma capacidade nominal muito acima da vazão mínima requerida de ventilação mecânica de  $6,5\text{m}^3/\text{h}$ . Este nível de exaustão já é atendido geralmente por exaustores para uso

residencial instalado em banheiros que possuem no mínimo 75m<sup>3</sup>/h com diâmetro de 100mm e construção frágil. A outra característica importante é sobre o motor do exaustor que preferencialmente deveria ser do tipo de segurança aumentada que proporciona uma temperatura reduzida em condições normais de operação e partida não gerando arcos, fagulhas ou aquecimento suficiente que provoque a ignição da atmosfera explosiva gerada pelo gás hidrogênio. Outra característica importante na aquisição do exaustor seria o tipo de material das hélices, pois sendo de metal com a carcaça também em metal pode ocorrer centelhamento em qualquer desbalanceamento da hélice gerando faíscas no duto do exaustor por onde passará gás explosivo. Em função de não encontrar disponível no mercado tais características específicas sobre a hélice e o motor do exaustor para uma vazão tão baixa foi selecionado um equipamento semelhante ao da figura 14.

Figura 14 – Exaustor para ventilação mecânica



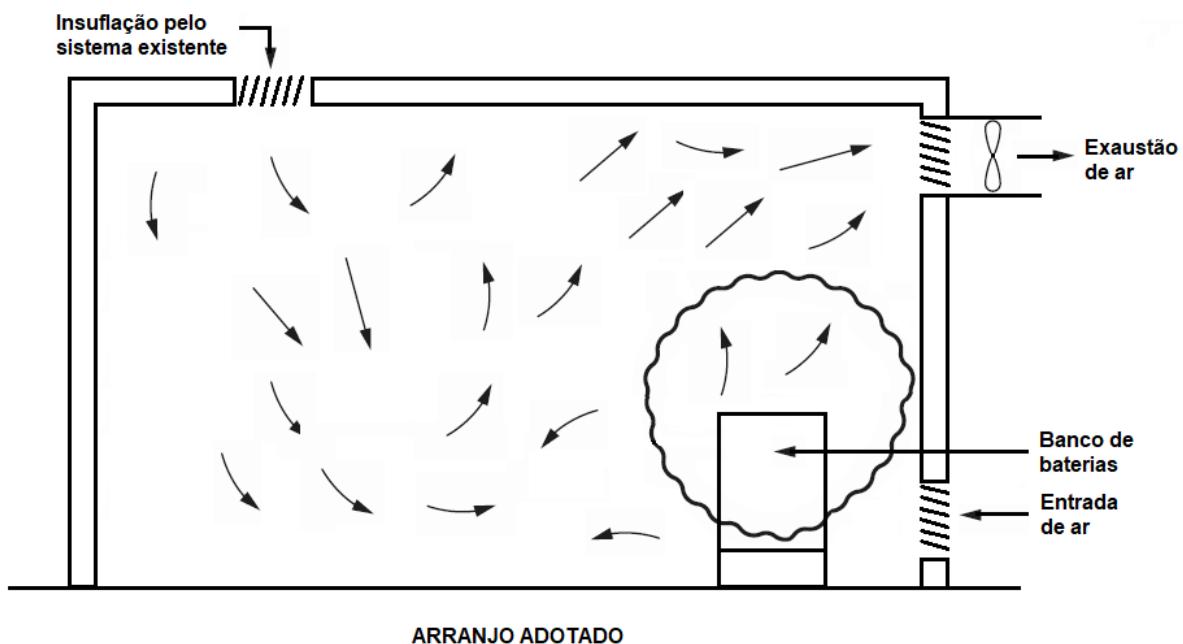
Tensão (V):	220
Corrente (A):	0,16
Potência (W):	37
Rotação (RPM):	1700
Vazão (m <sup>3</sup> /h):	480 m <sup>3</sup> /h
Pressão (mmH <sub>2</sub> O):	7,3
Ruído (dBA):	61
Diâmetro (mm):	200
Largura (mm):	160
Hélices:	5 (alumínio)

Fonte: Arquivo Pessoal

Um aspecto importante que foi definido para este sistema é sobre o modo de operação. A tomada de ar instalada de 30cm x 10cm com área livre de 150cm<sup>2</sup> foi projetado como abertura de entrada de ar da ventilação natural e o espaço livre no duto do exaustor de diâmetro 200cm de área livre de 150cm<sup>2</sup> considerando também um fator de 50% de área livre em relação a área total foi projetado como abertura de saída de ar da ventilação natural. Após a implementação da modificação de projeto

deverá ser avaliado a temperatura do sistema de climatização para não ultrapassar o valor de 25°C. O modo de operação de ventilação natural foi projetado exclusivamente para o regime de flutuação da bateria onde a emissão de H<sub>2</sub> é bem reduzida, no entanto, não deve acumular continuamente no recinto sem ventilação. No regime de recarga onde ocorre a maior geração de H<sub>2</sub> foi projetado o exaustor para a ventilação mecânica. Com o uso de componentes elétricos no painel como um relé de tensão monofásico, um relé de auxiliar de contato e um programador horário é possível ajustar o acionamento da exaustão mecânica no retorno da falta de energia, pois será o início da recarga da bateria sendo o momento mais crítico. Com o programador horário é possível ainda ajustar o sistema de ventilação mecânica para um acionamento diário para realizar renovação de ar de acordo com o critério do usuário.

Figura 15 – Arranjo da sala de equipamentos de TI



Fonte: Arquivo Pessoal

Recentemente em 2018, com a publicação da norma regulamentadora NR-37 sobre a segurança e saúde em plataformas de petróleo, é necessário, além da ventilação para diluição do gás H<sub>2</sub> em sala de baterias, a instalação de sistema de detecção e alarme de gás hidrogênio considerando a influência do sistema de exaustão e

insuflamento de ar do local. O funcionamento adequado do sistema de ventilação deve ser sinalizado no COI da plataforma de petróleo e os sensores de H<sub>2</sub> posicionados próximos e na parte superior onde estão instaladas as baterias. Ao atingir o valor de 1% é enviado um alarme para o COI e ao atingir 2% é acionado a ventilação mecânica exaustora independente se a bateria está em regime de flutuação ou de recarga.

Os resultados obtidos pelos cálculos no quadro 6 demonstraram que a bateria do tipo VRLA emite uma quantidade pequena de H<sub>2</sub> de acordo com as normas de forma que é necessário prover uma ventilação mínima para uma sala enclausurada quando neste ambiente for destinado a operação de uma UPS com seu banco de baterias. No estudo de dimensionamento foi realizado inicialmente o cálculo de emissão de H<sub>2</sub> para quantificar a taxa de liberação, pois este é um dos parâmetros principais no cálculo do sistema de ventilação. Foi observado que a taxa de emissão do gás hidrogênio não é obtida de forma direta, pois depende das correntes elétricas que circulam no conjunto de monoblocos para os regimes de flutuação e de recarga ou então usar os valores padronizados de corrente elétrica informados pela norma IEC-62485-2 quando o sistema de ventilação ainda está na fase de projeto de detalhamento para depois ser implementado na obra.

O limite inferior de explosividade de 4% em um dado volume acontece quando é atingido a concentração de  $3,4 \times 10^{-3}$  kg/m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub> no ar do recinto. A sala de baterias do COI tem um volume de 30m<sup>3</sup> desconsiderando os volumes ocupados pelos equipamentos elétricos. A massa de gás hidrogênio diluído no ar para o volume de 30m<sup>3</sup> se tornar potencialmente explosiva é de  $102 \times 10^{-3}$  kg de H<sub>2</sub>. Considerando a sala de baterias totalmente fechada sem ventilação com emissão de gás no regime de flutuação e recarga foi calculado o tempo decorrido para que seja atingida esta quantidade de massa no ar. O tempo encontrado é de 186,7 horas para o regime de flutuação e de 18,7 horas para o regime de recarga conforme o quadro 11.

A área ocupada pelas baterias na sala do COI é menos de 1m<sup>2</sup> para uma sala de 10m<sup>2</sup> sendo um fator favorável a segurança, pois existe um grande volume de ar para a dispersão do H<sub>2</sub>.

Quadro 11 – Tempo para o LIE sem ventilação natural

Regime	Emissão H <sub>2</sub> (kg/h)	Concentração de H <sub>2</sub> (kg)	Tempo (h)
Flutuação	$5,46 \times 10^{-4}$	$102 \times 10^{-3}$	186,7
Recarga	$54,6 \times 10^{-4}$	$102 \times 10^{-3}$	18,7

Fonte: Arquivo Pessoal

No dimensionamento da sala, de acordo com as normas, supõe-se que o gás hidrogênio se concentre nas partes nos níveis mais altos da sala, porém de acordo com Brzezinska (2018), verificou-se em testes realizados em laboratório simulando uma sala de 20m<sup>3</sup> de volume com pequenas liberações de hidrogênio similar à um banco de baterias que a dispersão tem uma variação que depende do fluxo de liberação do gás. Para altas taxas de liberação verificou-se que o LIE é atingido mais rapidamente nas partes mais altas do ambiente, ou seja, em regiões próximas do teto, porém para taxas mais baixas de liberação verificou-se que o aumento do LIE ocorre quase na mesma proporção em toda a sala independentemente da altura em relação ao piso. Estes ensaios realizados simulando uma situação real demonstraram que o LIE poderá ser atingindo em toda o volume do recinto não apenas nas partes superiores.

Para a sala de baterias foi adotada uma solução para o regime de flutuação de menor emissão de H<sub>2</sub> usando a ventilação natural e uma outra solução complementar para o regime de recarga de maior emissão de H<sub>2</sub> usando a ventilação mecânica. A veneziana foi escolhida para a tomada de ar externo instalada na parte inferior da parede funcionando em conjunto com a abertura de saída de ar representada pela área livre do duto do exaustor desligado instalado na parte superior da parede próxima ao teto. No pior caso de emissão gás hidrogênio, que é o regime de recarga da bateria, não foi dimensionada a ventilação natural, pois seriam necessárias muitas aberturas de ar com maior área livre prejudicando o sistema de climatização podendo aumentar a temperatura acima de 25°C na sala. Neste caso optamos pela configuração onde o exaustor será acionado apenas no pior evento que é o regime de recarga.

## 5. CONCLUSÕES

A ventilação industrial de uma sala de baterias é um assunto já consolidado para as baterias ventiladas do tipo VLA, porém para as baterias seladas do tipo VRLA persiste ainda em muitos usuários a informação que de que não há emissão de gás potencialmente explosivo. As baterias do tipo VRLA são vendidas comercialmente sem dados técnicos sobre as taxas de liberação de hidrogênio ou apenas é informado nos catálogos que a liberação é insignificante não sendo necessário executar um estudo para a adequação do ambiente para permitir a ventilação. No anexo A5 foi registrada a seção de um catálogo de fabricante nacional que informa esta condição de liberação de H<sub>2</sub>, mas são raras exceções.

O dimensionamento da ventilação industrial para proteção à saúde ou para a proteção contra incêndio e explosão precisa da informação adequada da taxa de emissão do poluente, pois qualquer erro nesta etapa ocorrerá uma concepção equivocada do sistema. Deve-se informar que, na maioria dos casos, a diluição geral ao nível do limite de tolerância do ambiente com seres vivos já satisfaz a condição de controle de risco de explosão pois o limite de explosividade é bem maior que o limite de tolerância. No entanto, as salas de baterias de baterias VRLA não podem ser ambientes fechados sem ventilação. A ventilação geral diluidora deve ser aplicada para contaminantes de baixa toxicidade, com pequenas taxas de emissão, com a emissão uniforme já próximo da abertura de saída, com o trabalhador longe da fonte e com uma fácil capacidade de diluição geralmente encontrada em gases e vapores. Este tipo de ventilação é a medida de controle de engenharia mais apropriada possível para atender aos requisitos de risco de explosão. O fornecimento de energia intermitente pela concessionária, a inexistência de um grupo gerador com entrada automática, um projeto de sala de bateria com área reduzida sem controle de temperatura e a falta de ventilação para renovação do ar são fatores que contribuem de forma significativa para um evento de acidente com incêndio.

O estudo de caso atendeu seus objetivos para a adequação de uma sala para uso de baterias especificando a ventilação industrial necessária para a operação dos dispositivos sem comprometer a segurança do local.

## REFERÊNCIAS

ACGIH, AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Industrial Ventilation Manual.** 1998. Cincinnati - USA. 514f. Disponível em: <https://archive.org/details/gov.law.acgih.manual.1998>. Acesso em: 18/07/2021.

BHATIA, A. **Battery Room Ventilation and Safety.** 2015. New York-USA. CED Engineering Online. 62f. Disponível em: <https://www.cedengineering.com/hvac-engineering/ventilation>. Acesso em: 18/07/2021.

BRASIL, ABNT. **NBR-14204: Acumulador chumbo-ácido estacionário regulado por válvula – Especificação.** Rio de Janeiro – RJ. 14f. 2019. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 10/07/2021.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR-15389: Bateria chumbo-ácida estacionária regulada por válvula – Instalação e montagem.** Rio de Janeiro – RJ. 10f. 2006. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 10/07/2021.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR-IEC-61892-6: Unidades marítimas fixas e móveis – Instalações elétricas. Parte 6: Instalações.** Rio de Janeiro – RJ. 43f. 2014. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 15/07/2021.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR-IEC-61892-7: Unidades marítimas fixas e móveis – Instalações elétricas. Parte 7: Áreas classificadas.** Rio de Janeiro – RJ. 54f. 2020. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 15/07/2021.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR-13231: Proteção contra incêndios em subestações elétricas.** Rio de Janeiro – RJ. 31f. 2015. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 20/07/2021.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR-IEC-60079-10-1: Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás.** Rio de Janeiro – RJ. 110f. 2018. Disponível por conta corporativa em: <https://www.abntcolecao.com.br>. Acesso em: 20/07/2021.

\_\_\_\_\_, MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Norma Regulamentadora NR-37: Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo.** 2018. Brasília-DF. 97f. Portaria MTb nº 1186 de 20/12/2018. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao>. Acesso em: 30/07/2021.

BRZEZINSKA, D. **Ventilation System Influence on Hydrogen Explosion Hazards in Industrial Lead-Acid Battery Rooms.** 2018. Lodz-Poland. 11f. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/8/2086>. Acesso em: 20/07/2021.

CHAGAS, M.W.P. **Sistemas de Energia e Climatização.** 2014. São Paulo – SP. 320f. 1º edição. Editora Érica.

COSTA, E. C. **Ventilação.** 2005. São Paulo – SP. 256f. 1º edição. Editora Blucher.

IEC, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard IEC-62485-2 – Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 2: Stationary batteries.** Geneva - Switzerland. 75f. 2010. Disponível por conta corporativa em: <https://ihsmarkit.com/index.html>. Acesso em: 15/07/2021.

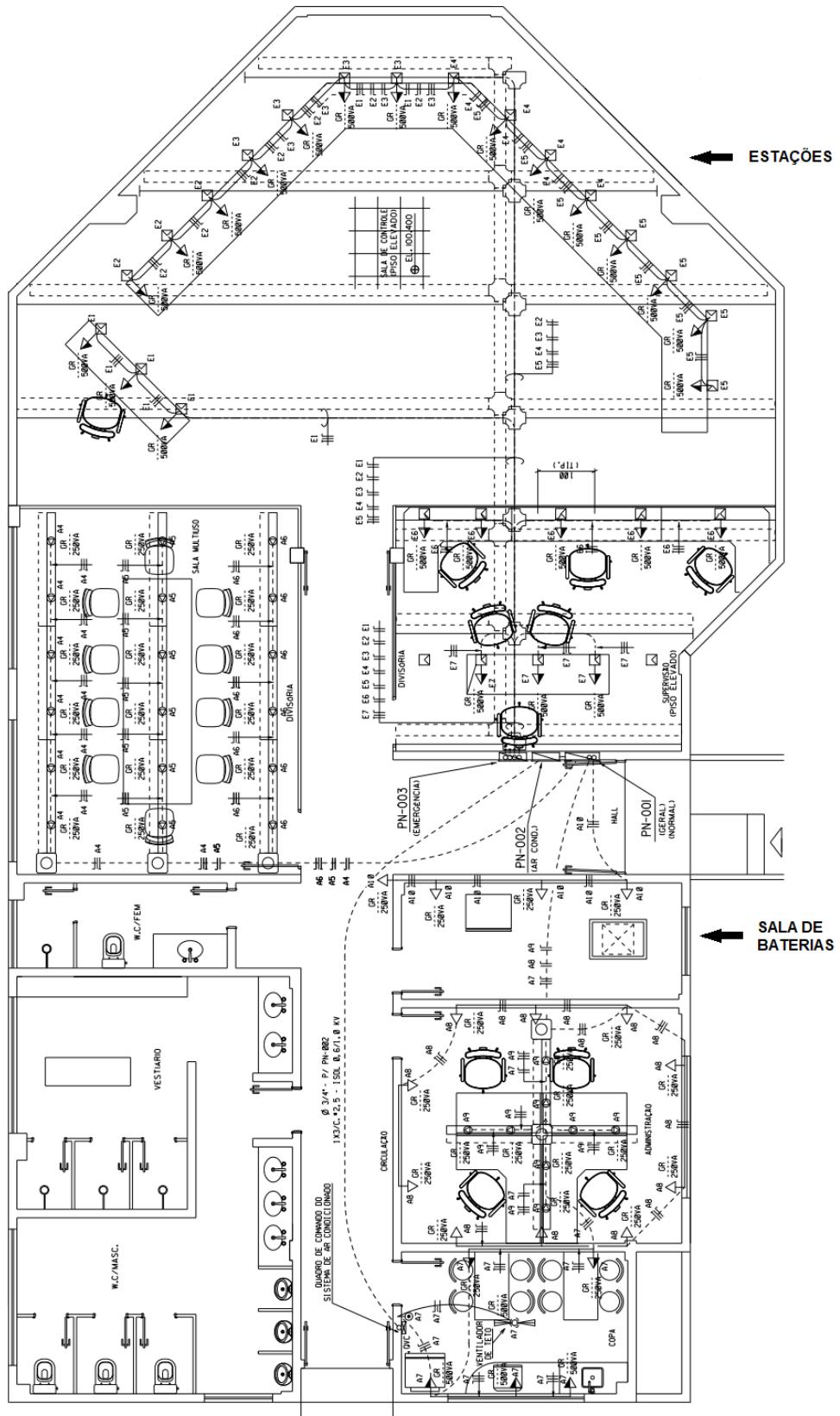
NIOSH, NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing.** 2019. Pittsburgh – USA. 406f. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/2019-124.pdf>. Acesso em: 10/07/2021.

PIMENTEL, C.A. **Implementação de Ventilação Geral Diluidora em Espaços Confinados.** 2020. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/implementa%C3%A7%C3%A3o-de-ventila%C3%A7%C3%A3o-geral-diluidora-em-castellani-pimentel/>. Acesso em: 15/07/2021.

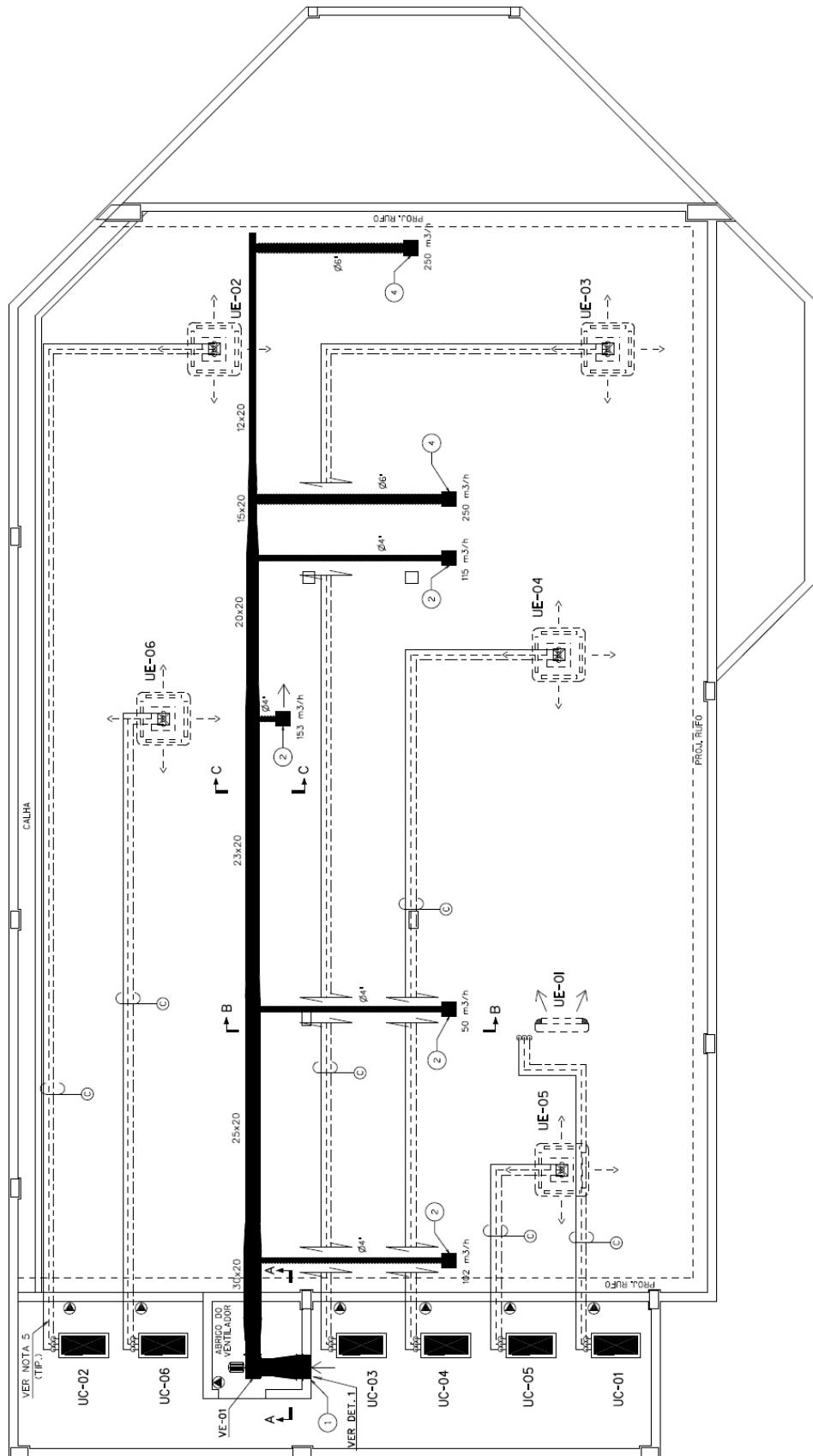
SHERIQUE, J. **Risco de Explosão em Sala de Baterias – Como Evitar.** 2015. Rio de Janeiro-RJ. 5f. Disponível em: <http://shérique.com.br/artigos-diversos/>. Acesso em: 22/07/2021.

USP, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Ventilação industrial.** Epusp – EAD/PECE, 2021. São Paulo-SP. 178f. Apostila de curso de especialização em Higiene Ocupacional.

## ANEXO



A2-REDE DE DUTOS PARA RENOVAÇÃO DO AR DO COI



### A3-INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA UPS

#### ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS:

##### Características de Entrada CA:

- . Tensão de Alimentação CA: 220V FFT
- . Frequência: 60Hz
- . Número de Fases: 2 (BIFÁSICO)
- . Fator de Potência: 0,8

##### Características de Saída CA:

- . Tensão de Saída CA: 120V FNT
- . Frequência: 60Hz +/– 5%
- . Número de Fases: 1 (monofásico).
- . Fator de Potência: 0,8.
- . Potência Nominal: 3 kVA.

##### Banco de Baterias

- . Bateria: 12V/150Ah
- . Fabricante: GelPower
- . Modelo: GP12-150
- . Quantidade: 10 Monoblocos.
- . Autonomia: 4 HORAS.

#### ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS:

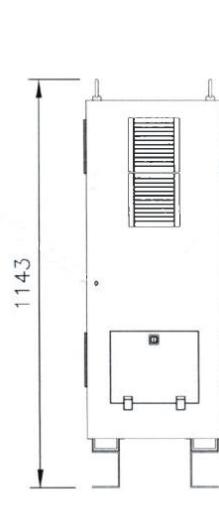
##### Dimensões do Gabinete UPS:

- . Altura: 1143 mm.
- . Profundidade: 930 mm.
- . Largura: 420 mm.
- . Massa: 250 kg.
- . Cor: Gabinete em Cinza Claro Munsell N6.5.
- . Bandejas internas, perfis e suportes: Laranja Munsell
- . Pintura N1735 – F – C2
- . Entrada e Saída de Cabos: Inferior

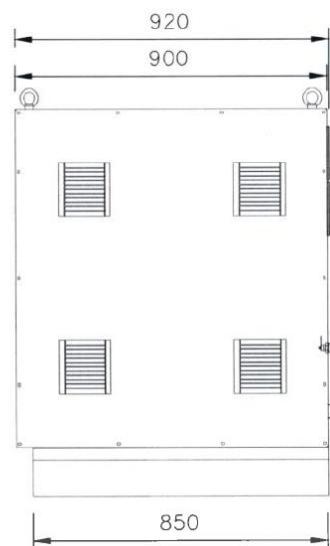
##### Dimensões do Estante Baterias:

- . Altura: 665 mm.
- . Profundidade: 600 mm.
- . Comprimento: 1000 mm.
- . Quantidade de baterias : 10 unidades
- . Peso da bateria :47 KG
- . Peso total: 570 kg
- . Cor: Cinza Claro Munsell N6.5.
- . Pintura N1735 – F – C2

VISTA TRASEIRA



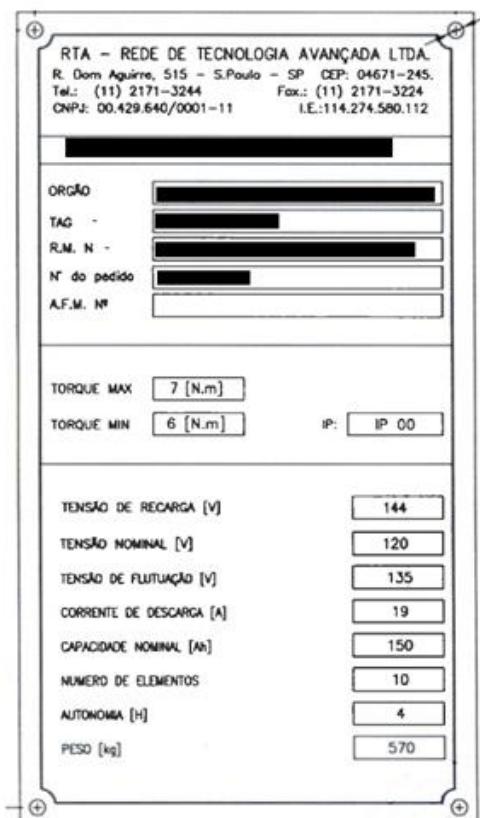
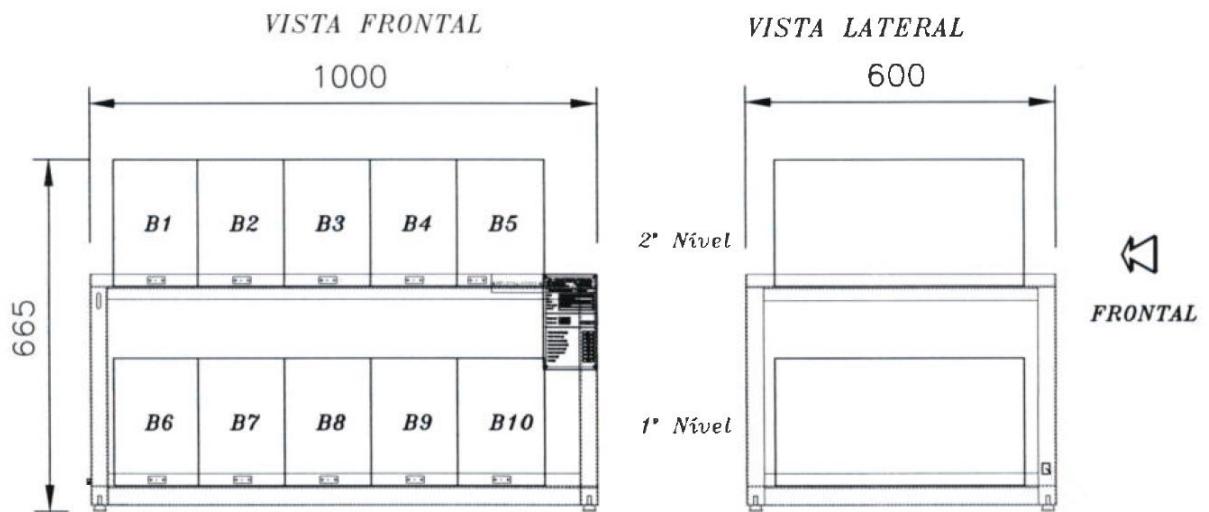
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL

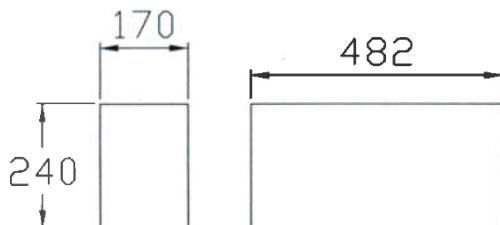


## A4-INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO BANCO DE BATERIAS



FABRICANTE: GetPower  
MODELO: GP12-150  
CAPACIDADE: 150AH

VISTA FRONTAL      VISTA LATERAL



### ESQUEMA DE LIGAÇÃO



## A5-CATÁLOGO DE BATERIAS MOURA CLEAN SÉRIE MF (f. 27 e 28)

### Emissão de gases

O volume de gases (Hidrogênio e Oxigênio) gerado por elemento pode ser calculado aplicando-se a seguinte equação:

$$V = 0,63 \text{ (L/Ah)} \times n \times I(\text{A/Ah}) \times C_{10}$$

Onde:

V = Volume total dos gases (litros/hora)

n = Número de células

I = Corrente de flutuação (A) dividida pela capacidade nominal (Ah)

C<sub>10</sub> = Capacidade nominal no regime de 10 horas.

Esta equação é aplicada para qualquer capacidade, isto porque, a corrente de flutuação é diretamente relacionada com o tipo da bateria, tensão de flutuação e capacidade.

Por exemplo:

O volume de gases gerado diariamente por uma bateria 12MF220 (200Ah/10h/1,75Vpe) com tensão de flutuação de 13,8V e corrente de flutuação de 2mA/Ah a 25°C:

$$V = 0,63 \text{ (L/Ah)} \times 6 \times 0,002 \text{ (A/Ah)} \times 200$$

$$V = 1,51\text{L/h}$$

$$V = 1,51\text{L/h} \times 24\text{h/dia}$$

$$V = 36\text{L/dia}$$

Portanto o local de instalação deve permitir a renovação de ar a fim de prevenir a possibilidade de acumulo de gases hidrogênio e oxigênio limitando-o em 2,0% do volume total da área da sala.

Níveis superiores a 3,8% de concentração de gases no ambiente o torna potencialmente explosivo. Então cuidados especiais devem ser tomados quanto à ventilação e sistema de exaustão da sala onde estão instaladas as baterias.