

SISTEMAS DE CORRENTE CONTÍNUA

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO	3
2 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	3
3 - CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS.....	3
4 - ANÁLISE DAS CONFIGURAÇÕES	6
4.1 - Configuração Básica.....	6
4.2 - Configuração Alternativa.....	8
4.3 - Soluções para Evitar Sobretensões	11
4.4 - Avaliação das Soluções.....	14
5 - INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS - GENERALIDADES	15
5.1 - Proteções e Seletividade	15
5.1.1 - Proteção dos Diodos	15
5.1.2 - Seletividade das Proteções	15
5.2 - Localização de Falha à Terra.....	19
5.3 - Baterias	21
5.3.1 - Tipo	21
5.3.2 - Capacidade Nominal	21
5.3.3 - Número de Elementos.....	22
5.3.3.1 - Número de Elementos das Baterias Ventiladas	22
5.3.3.2 - Número de Elementos das Baterias Seladas	23
5.3.4 - Cálculo da Tensão Final dos Elementos	23
5.3.5 - Manutenção.....	24
5.3.6 - Conclusão	24
5.4 - CARREGADORES DE BATERIAS	24
5.4.1 - Unidade de Diodos de Queda	25
5.4.2 - Correção de Fator de Potência	25
5.4.3 - Diodo de Bloqueio	25
5.4.4 - Recursos para Interligação de Polos.....	26
5.4.5 - Operação em Paralelo.....	26
5.4.6 - Sobressalentes.....	26
5.5 - QUADROS DE CORRENTE CONTÍNUA	26
5.5.1 - Painel Local de Controle	27
5.5.2 - Quadros de Distribuição de Corrente Contínua.....	27

1 - OBJETIVO

O objetivo deste informativo é fazer considerações sobre configurações dos sistemas de corrente contínua, problemas e soluções, dimensionamento, tensões nominais, características de equipamentos e componentes de sistemas de corrente contínua de usinas hidrelétricas, que também podem ser aplicados a outros tipos de instalações.

2 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este informativo leva em consideração a evolução que tem ocorrido, principalmente, nas baterias, disjuntores de caixa moldada e sistemas digitais de supervisão e controle. Não se pode deixar de considerar que as baterias seladas são uma realidade e que as baterias ventiladas vão deixar de ser utilizadas. Os recursos dos disjuntores de caixa moldada são cada vez maiores e seus custos mais acessíveis. A capacidade e recursos dos sistemas de supervisão e controle evoluem com muita rapidez e seus custos também vão sendo reduzidos.

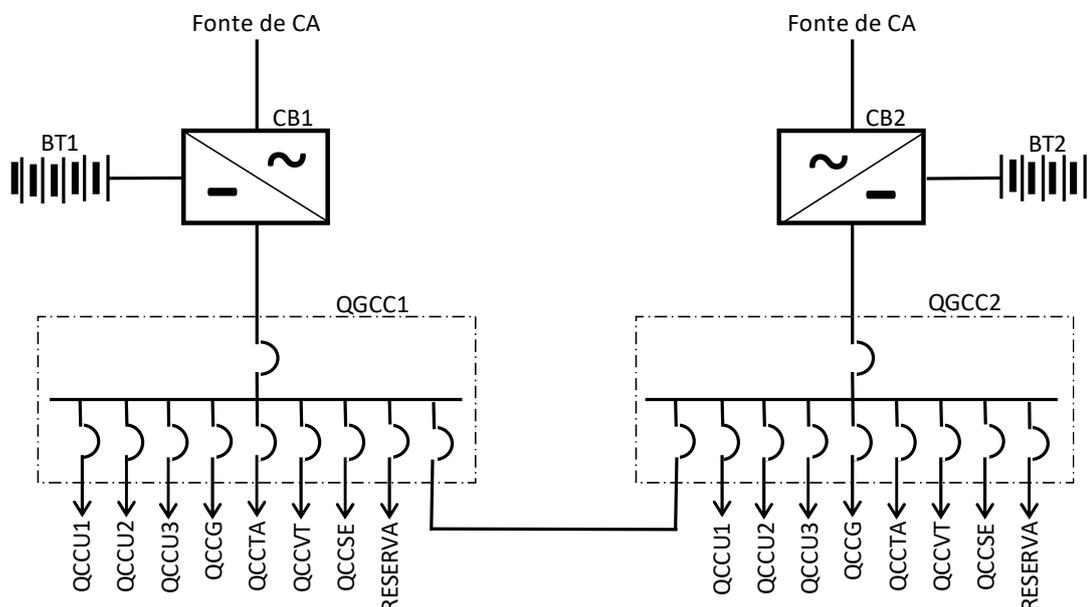
Em função das considerações acima, as baterias seladas serão consideradas como as indicadas para utilização nos sistemas de corrente contínua. Entretanto, a maioria das considerações sobre baterias seladas também se aplicam para baterias ventiladas, que ainda são utilizadas em muitas instalações existentes.

Os fabricantes de disjuntores de caixa moldada já fornecem uma grande variedade de tipos, com informações importantes como, tipos de curvas, valores de energia passante, tabelas de seletividade e acessórios, tais como, contatos auxiliares de estado e defeito. Estes disjuntores atendem integralmente as necessidades das instalações de corrente contínua.

Os sistemas digitais de supervisão e controle, que inicialmente eram muito caros e com recursos limitados, agora possuem uma capacidade muito grande de recursos e possibilidades de controle e supervisão, o que permite aumentar a quantidade de informações que podem ser administradas remotamente. Portanto, ainda que não totalmente utilizadas, todas as informações possíveis, destinadas aos sistemas de supervisão e controle devem ser disponibilizadas.

3 - CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS

A configuração típica de um sistema de corrente contínua de uma usina hidrelétrica é, ou pode ser, a indicada na figura abaixo:



O sistema é composto por dois conjuntos de baterias (BT1 e BT2) e carregadores (CB1 e CB2), que alimentam dois quadros gerais (QGCC1 e QGCC2), que por sua vez alimentam os quadros de distribuição da usina (QCCU1, QCCU2, QCCU3, QCCG, QCCTA, QCCVT e QCCSE). Observar que os dois quadros gerais de corrente contínua (QGCC1 e QGCC2) são totalmente independentes e a interligação entre eles é feita por dois disjuntores, um em cada quadro, para permitir isolar eletricamente qualquer quadro.

As finalidades dos quadros de corrente contínua são:

QCCU1, 2, 3 Quadros de Corrente Contínua das Unidades 1, 2 e 3

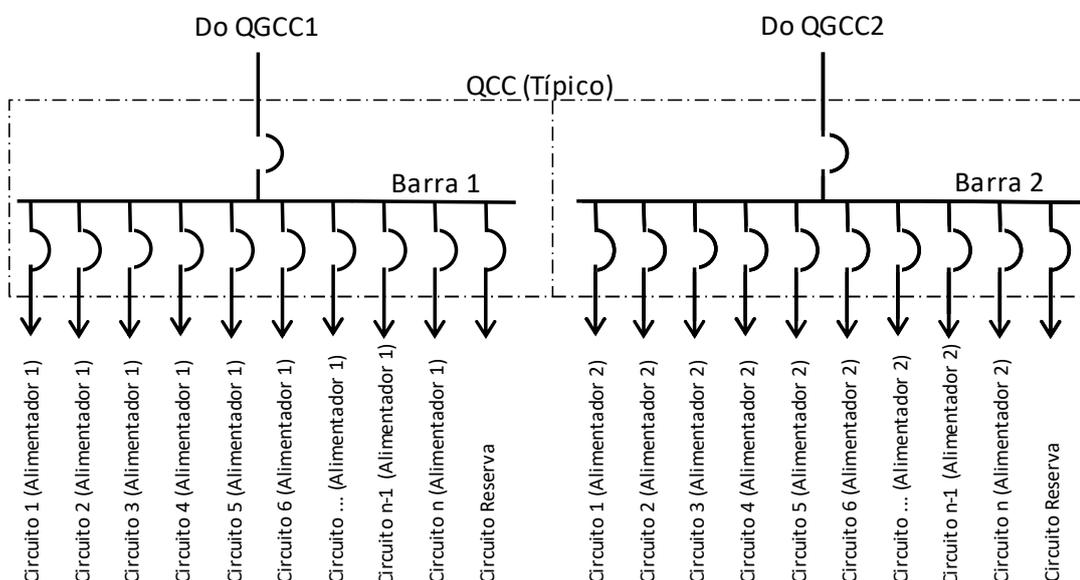
QCCG Quadro de Corrente Contínua de Cargas Gerais

QCCUTA Quadro de Corrente Contínua da Toma d'Água

QCCUVT Quadro de Corrente Contínua do Vertedouro

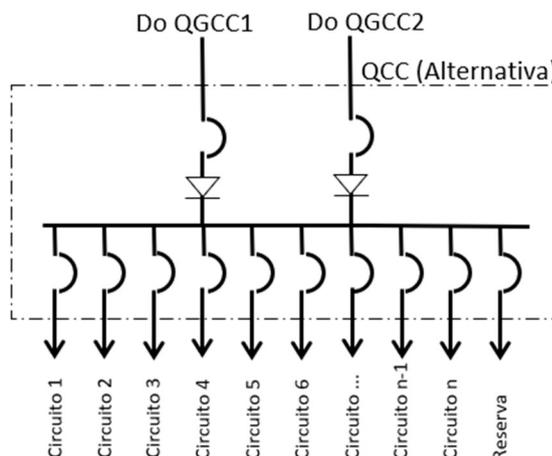
QCCSE Quadro de Corrente Contínua da Subestação

A alimentação das cargas é feita pelos quadros de distribuição, cuja configuração é a indicada na figura a seguir:



Na configuração acima o quadro pode ter dois barramentos de corrente contínua ou, preferencialmente, ser formado por duas seções independentes, cada uma alimentada por uma das fontes de corrente contínua da usina. Dos quadros de distribuição são feitas as alimentações das cargas de corrente contínua da usina, com um alimentador de cada barra.

Outra configuração de quadro de distribuição que pode ser adotada é a indicada figura a seguir



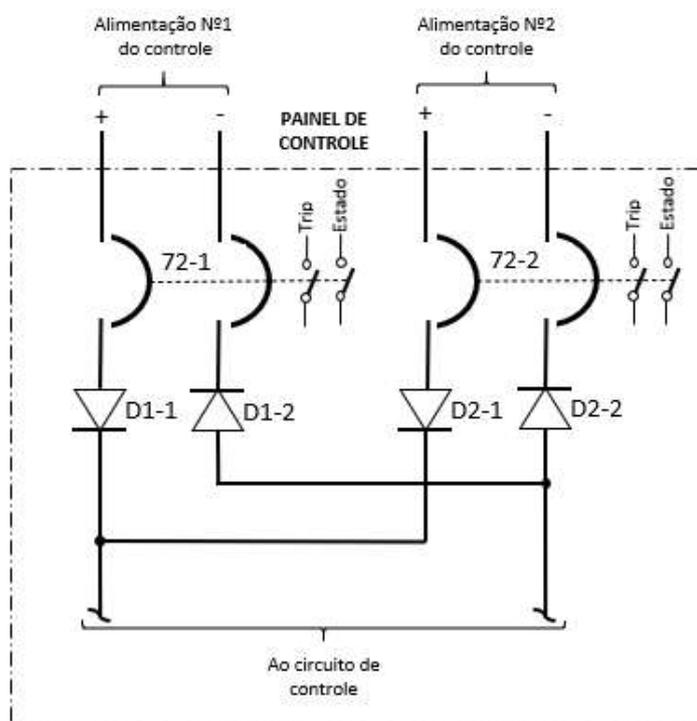
Nesta configuração, o paralelismo das fontes é feito nos quadros de distribuição em vez de ser feita nos painéis de controle locais. Como os quadros de distribuição são localizados próximos das cargas, os percursos dos alimentadores até os circuitos de controle são pequenos e os riscos de falhas nesses alimentadores é pequeno. Dessa forma, praticamente, se reduzem, à metade a quantidade de circuitos de saída dos quadros de distribuição e se simplificam as alimentações dos circuitos de controle. Entretanto, esta configuração se aplica a todos os circuitos que não exijam, simultaneamente, dupla alimentação de fontes diferentes, pois nesta configuração, apesar da alimentação ser atendida por fontes diferentes, não está claramente atendida a exigência de dupla alimentação no destino. Nesse caso, apenas para as cargas que exijam essa condição, a configuração com dois barramentos independentes deve ser utilizada.

Para se garantir a seletividade entre os dispositivos de proteção, somente eram utilizados fusíveis em série com interruptores não automáticos em vez de disjuntores, pois os ensaios de tipo de fusíveis permitiam garantir essa seletividade. Para se garantir a seletividade dos circuitos utilizando fusíveis, as correntes nominais dos fusíveis adjacentes devem ter uma relação igual ou superior a 1,6 pois se garante que o tempo de interrupção máximo do fusível à jusante e inferior ao tempo mínimo de interrupção do fusível de montante.

Com os recursos dos disjuntores de caixa moldada, informações e tabelas de seletividade disponibilizadas pelos fabricantes, principalmente mini disjuntores, é possível fazer estudos que permitem otimizar a seleção desses componentes com o grau de confiança necessário.

Antigamente, quando a alimentação dos circuitos de controles era feita por duas fontes de corrente contínua, a transferência das alimentações era feita através de relés, o que causava a interrupção momentânea da alimentação, durante a transferência. Essa interrupção momentânea, às vezes, era suprida por capacitores instalados nos circuitos de controle. Atualmente, a alimentação dos controles é feita através de diodos, que mantêm o suprimento de corrente contínua ininterrupto, em caso de falta de tensão de uma das fontes.

A configuração da alimentação dos circuitos de controle com dupla alimentação está representada na figura abaixo. Essa configuração tem implicações no funcionamento do sistema de corrente contínua., com seus problemas e soluções, que fazem parte do objetivo deste informativo.

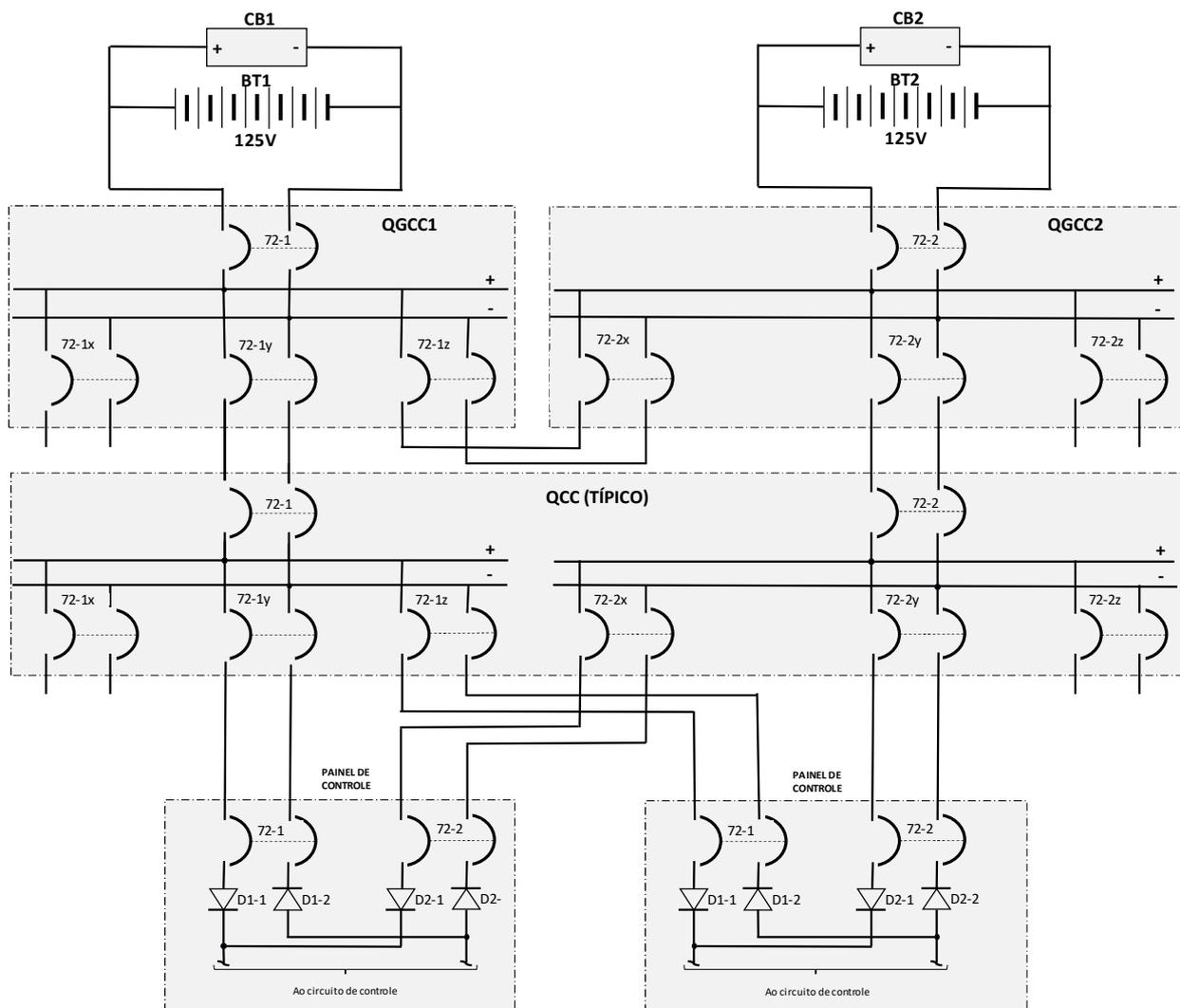


4 - ANÁLISE DAS CONFIGURAÇÕES

A utilização de diodos nos circuitos de controle trouxe uma solução para o problema da transferência entre fontes de alimentação, mas também tem implicações que muitas vezes não são visualizadas pelos usuários e, conseqüentemente, não são avaliadas nem resolvidas. Neste informativo, a análise das configurações está mais voltada para sistemas de 125V, mas se aplicam a outras tensões com as devidas adequações.

4.1 - Configuração Básica

A configuração básica é mostrada, de modo mais abrangente, no diagrama Bifilar simplificado da figura a seguir:

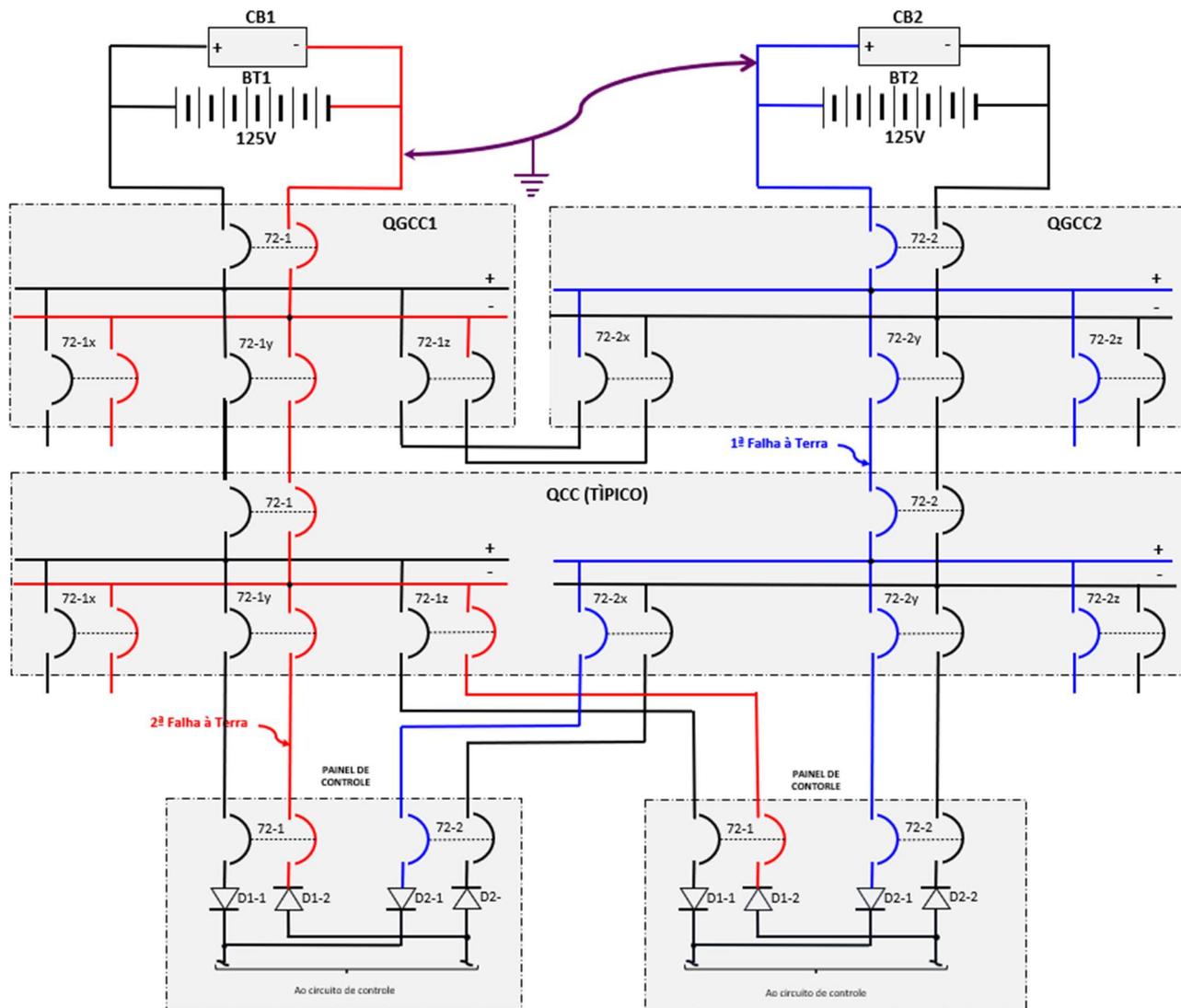


Na figura estão indicados os conjuntos de baterias (BT1 e BT2), carregadores (CB1 e CB2), os quadros gerais (QGCC1 e QGCC2), um quadro típico de distribuição de corrente contínua (QCC) e dois painéis de controle que contêm os circuitos alimentados com a nova configuração.

No diagrama não são indicados todos os quadros de distribuição e somente são indicados dois painéis de controle, mas estas informações são suficientes para analisar os problemas que podem ocorrer no sistema de corrente contínua.

Aparentemente, a nova configuração da alimentação dos controles se encaixa perfeitamente nos sistemas existentes, sem nenhuma implicação. Entretanto, se considerarmos a ocorrência de uma falha à terra, em qualquer ponto do sistema de corrente contínua, à montante dos diodos de alimentação dos circuitos de controle, no polo positivo

ou negativo e, posteriormente, ocorrer outra falha à terra, também à montante dos diodos de alimentação dos circuitos de controle, em qualquer ponto do sistema, porém, no polo contrário à primeira falha, teremos situação indicada na figura a seguir:



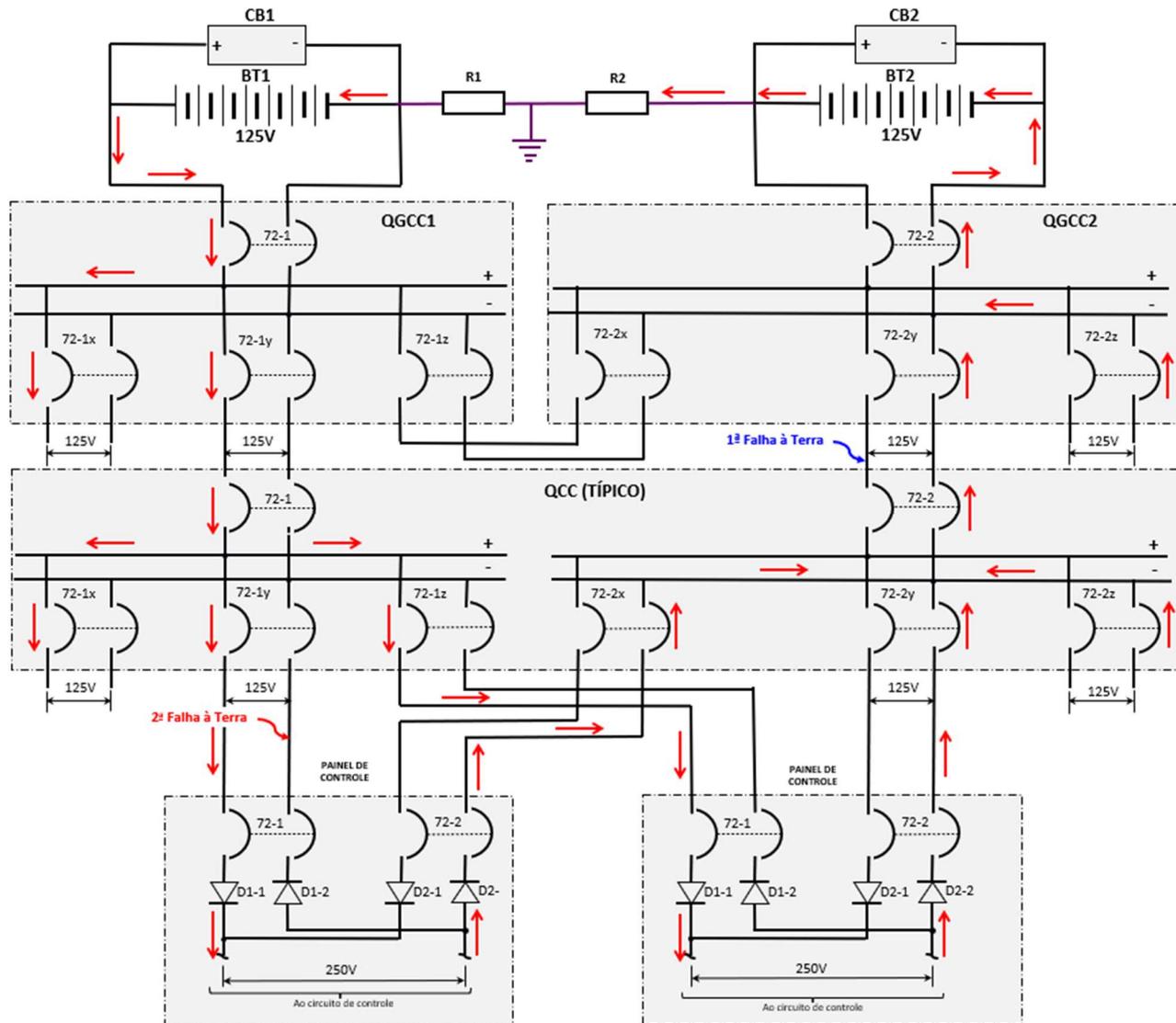
Na figura acima está indicado que a primeira falha à terra ocorre no cabo do polo positivo, do alimentador do quadro de distribuição (QCC), proveniente do quadro geral de corrente contínua (QGCC2). Desta forma, todos os circuitos do polo positivo do sistema, alimentado pelo conjunto de carregador e bateria (CB2 e BT2), indicados na cor azul, estarão no mesmo potencial à terra.

Na figura também está indicado que uma segunda falha à terra ocorre no polo negativo do sistema alimentado pelo conjunto de carregador e bateria (CB1 e BT1), desta vez no cabo do alimentador de um dos painéis de controle, à montante dos diodos dos circuitos de controle. Desta forma, todos os circuitos do polo negativo do sistema, alimentado pelo conjunto de carregador e bateria (CB1 e BT1), indicados na cor vermelha, estarão no mesmo potencial à terra.

Como os dois sistemas são, originalmente, isolados da terra, o segundo defeito à terra equivalerá a interligar o polo positivo do conjunto e carregador (CB2 e BT2) ao polo negativo do conjunto carregador e bateria (CB1 e BT1), como indicado pela ligação na cor roxa.

Dependendo da localização dos defeitos, da solidez das falhas à terra, das resistências dos circuitos, das correntes envolvidas, da atuação das proteções, e na situação mais

desfavorável, a tensão em **TODOS** os circuitos de controle da usina, com dupla alimentação dos dois sistemas através dos diodos, poderá ser a soma das tensões dos dois sistemas. A figura a seguir ilustra a condição extrema, com a indicação da tensão nas alimentações dos circuitos de controle e dos percursos das correntes, A interligação dos polos, que estava indicada na cor roxa, foi substituída por uma conexão direta.

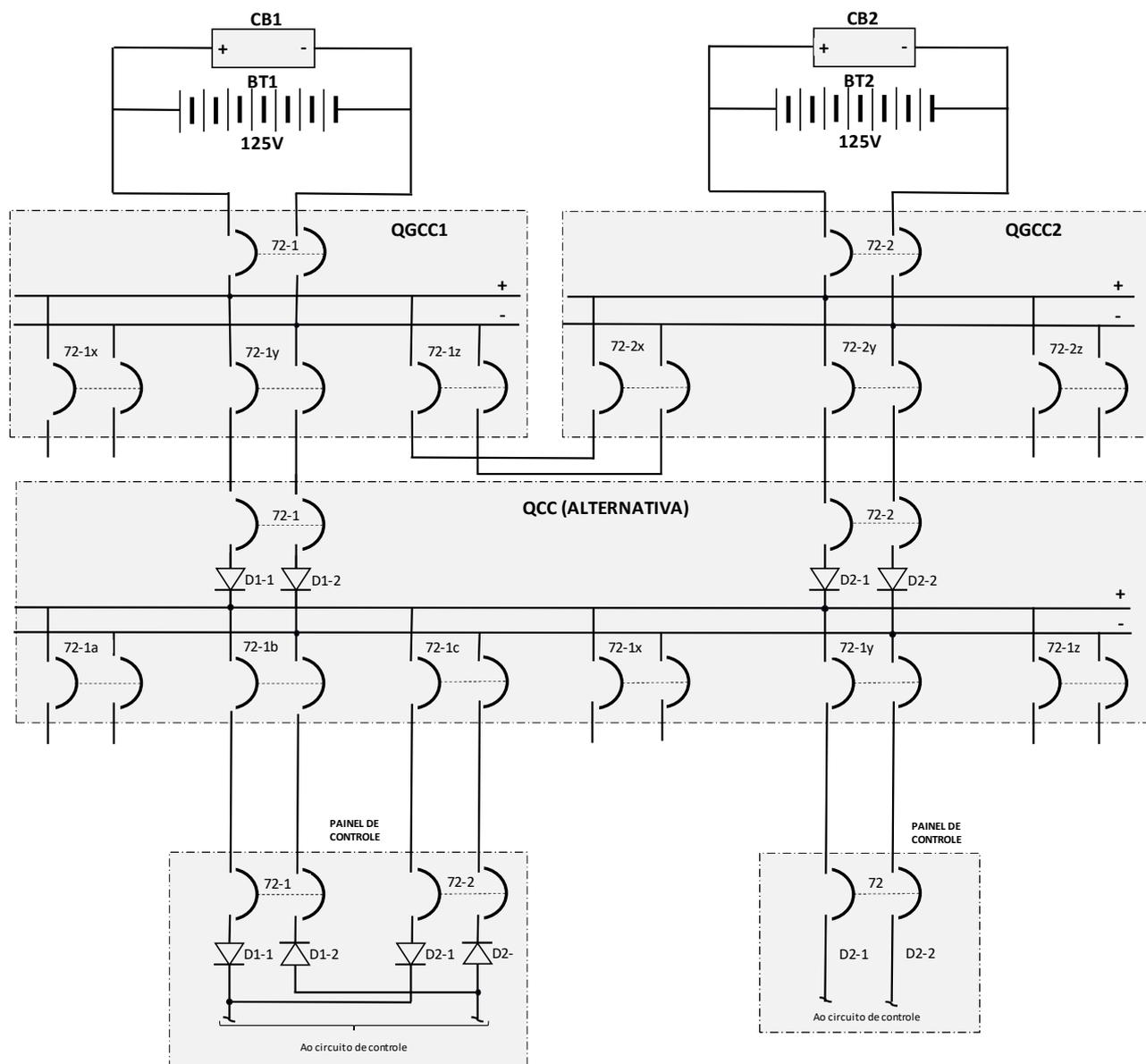


Os resistores R1 e R2 representam as resistências das falhas à terra, cujo valor dependerá da gravidade da falha. Na condição extrema, a tensão nos quadros gerais (QGCC1 e QGCC2) e quadros e circuitos de distribuição representados pelo QCC, será 125V, mas em todos os painéis de controle e cargas alimentadas através dos diodos, a tensão poderá atingir 250V.

Naturalmente, se a primeira e segunda falhas ocorrerem no positivo e negativo do mesmo sistema, se caracteriza um curto circuito que deverá ser sinalizado e eliminado pelas proteções correspondentes.

4.2 - Configuração Alternativa

A configuração alternativa é mostrada, de modo mais abrangente, no diagrama simplificado da figura a seguir.

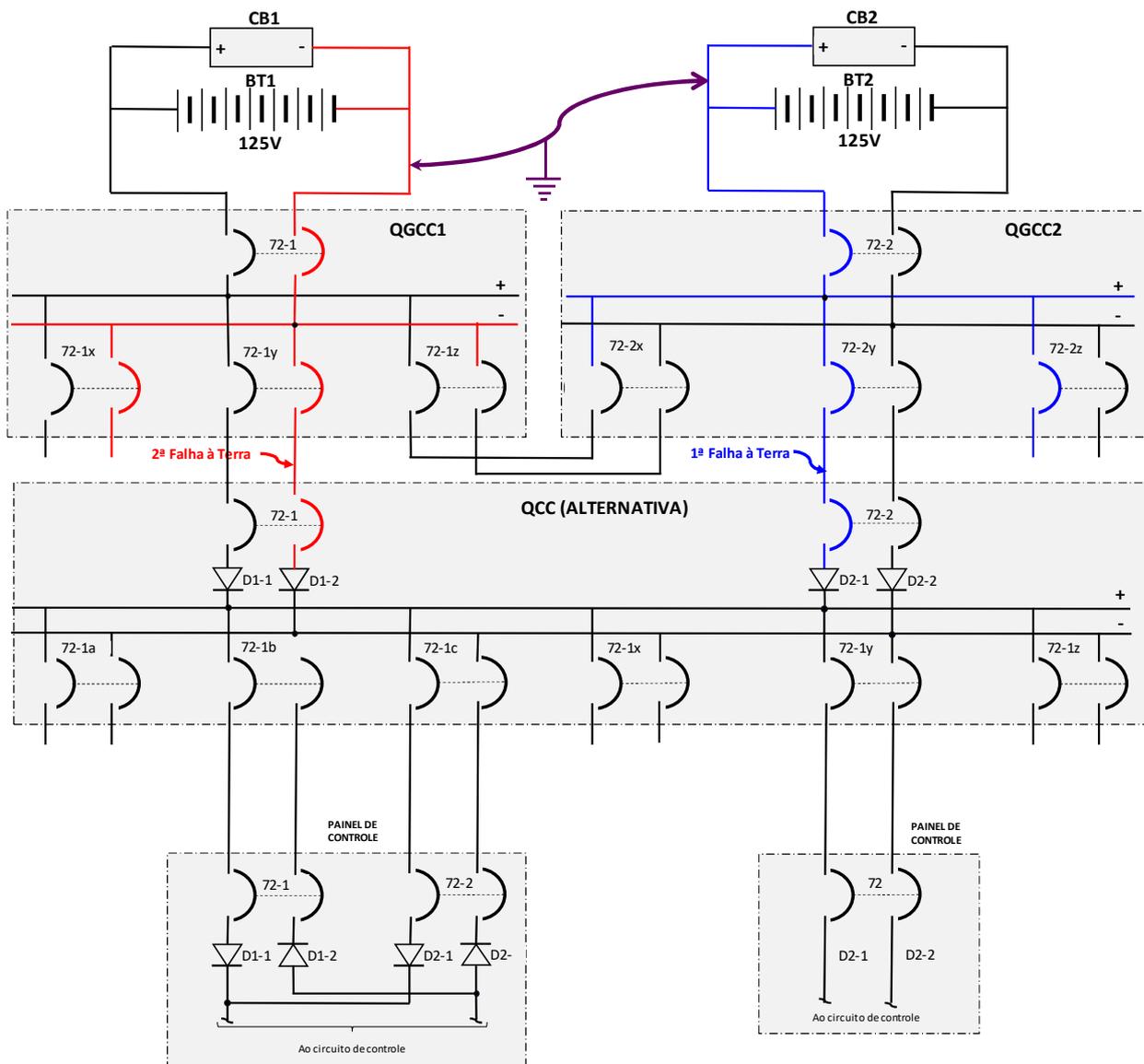


No circuito bifilar acima estão indicados os conjuntos de baterias (BT1 e BT2), carregadores (CB1 e CB2), os quadros gerais (QGCC1 e QGCC2), um quadro típico de distribuição de corrente contínua (QCC), um painel de controle que contém a nova configuração com dupla alimentação e um painel controle sem dupla alimentação.

Nessa configuração estão indicados dois tipos de controles locais, o primeiro, que considera um circuito de controle com o paralelismo das alimentações sendo feito no próprio painel de controle, através dos diodos, e o segundo, que não tem dupla alimentação, porque considera que a dupla alimentação existe no quadro de distribuição QCC, onde a transferência de fontes é feita através dos diodos instalados no quadro QCC.

O primeiro tipo de controle possui redundância para falha em uma das alimentações, mas durante o período de descarga da bateria, devido existência de mais dois diodos em série no circuito, a tensão na carga será reduzida de quase 1,5V.

Se considerarmos a ocorrência de uma falha à terra, em qualquer ponto do sistema de corrente contínua, à montante dos diodos de alimentação dos quadros de distribuição, no polo positivo ou negativo e, posteriormente, ocorrer outra falha à terra, também à montante dos diodos de alimentação dos quadros de distribuição, em qualquer ponto do sistema, porém, no polo contrário à primeira falha, teremos situação indicada na figura a seguir:



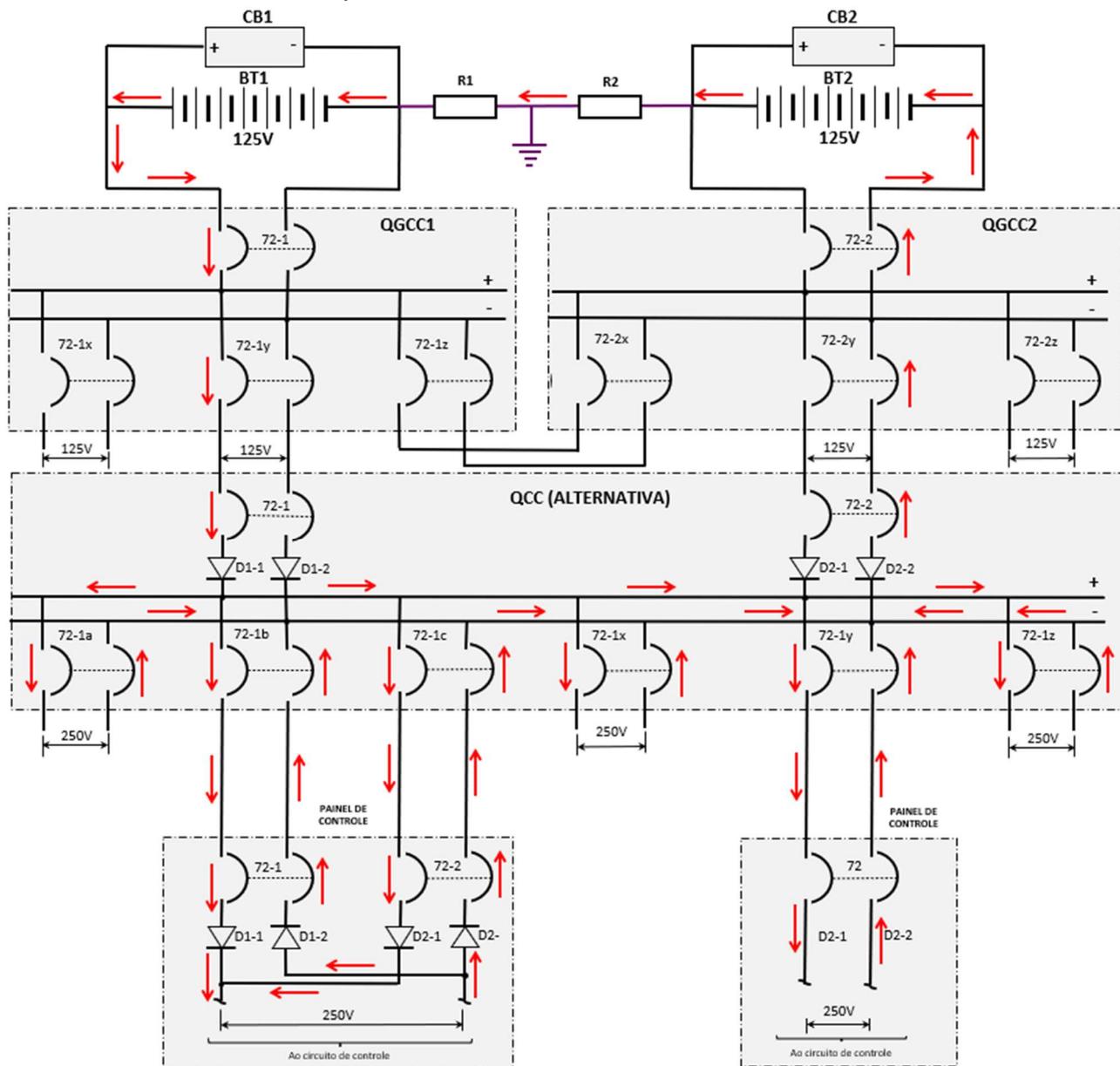
Na figura acima está indicado que a primeira falha à terra ocorre no cabo do polo positivo, do alimentador do quadro de distribuição (QCC), proveniente do quadro geral de corrente contínua (QGCC2). Desta forma, todos os circuitos do polo positivo do sistema, alimentado pelo conjunto de carregador e bateria (CB2 e BT2), indicados na cor azul, estarão no mesmo potencial à terra.

Na figura também está indicado que uma segunda falha à terra ocorre no polo negativo, do alimentador do quadro de distribuição (QCC), proveniente do quadro geral de corrente contínua (QGCC2). Desta forma, todos os circuitos do polo negativo do sistema, alimentado pelo conjunto de carregador e bateria (CB1 e BT1), indicados na cor vermelha, estarão no mesmo potencial à terra. A segunda falha à terra poderia ter ocorrido no alimentador de qualquer quadro de distribuição.

Como os dois sistemas são, originalmente, isolados da terra, o segundo defeito à terra equivalerá a interligar o polo positivo do conjunto e carregador (CB2 e BT2) ao polo negativo do conjunto carregador e bateria (CB1 e BT1), como indicado pela ligação na cor roxa.

Dependendo da localização dos defeitos, da solidez das falhas à terra, das resistências dos circuitos, das correntes envolvidas, da atuação das proteções, e na situação mais desfavorável, a tensão em **TODOS** os quadros de distribuição da usina, com dupla alimentação dos dois sistemas através dos diodos, poderá ser a soma das tensões dos dois sistemas.

A figura a seguir ilustra a condição extrema, com a indicação da tensão nas alimentações dos circuitos e dos percursos das correntes, A interligação dos polos, que estava indicada na cor roxa, foi substituída por uma conexão direta.



Os resistores R1 e R2 representam as resistências das falhas à terra, cujo valor dependerá da gravidade da falha. Na condição extrema, a tensão nos quadros gerais (QGCC1 e QGCC2) será 125V, mas em todos os quadros de distribuição e suas cargas poderá atingir 250V.

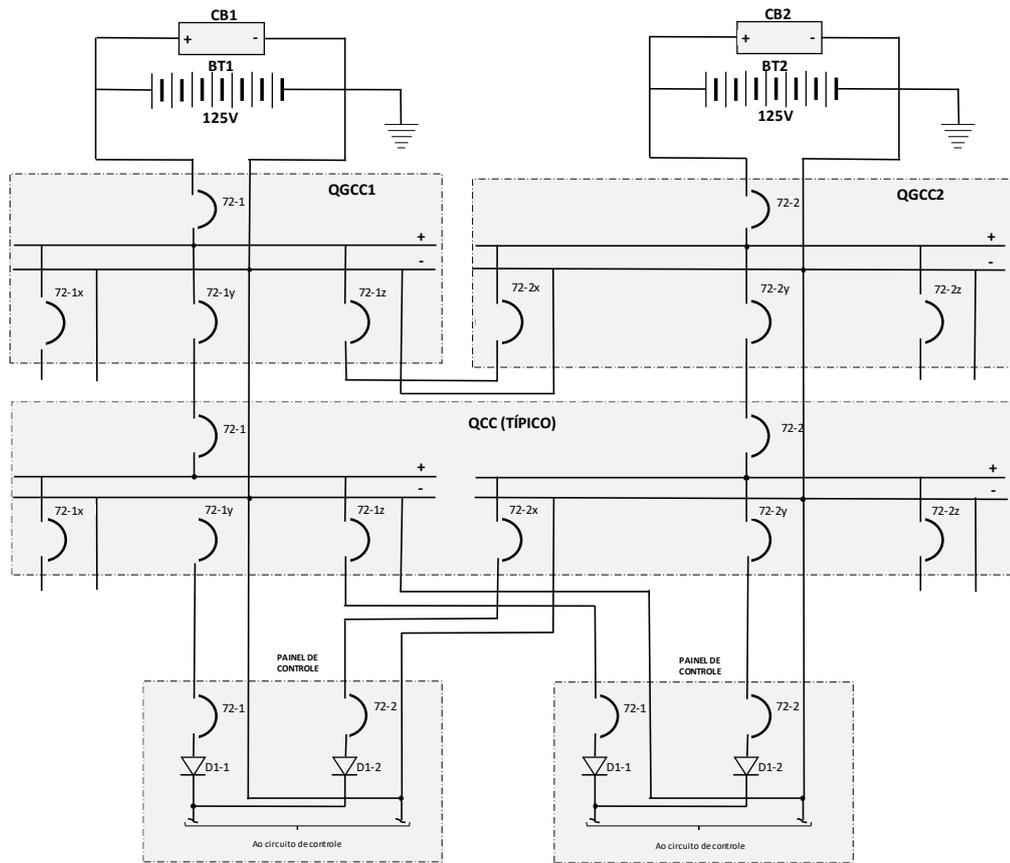
Naturalmente, se a primeira e segunda falhas ocorrerem no positivo e negativo do mesmo sistema, se caracteriza um curto circuito que deverá ser sinalizado e eliminado pelas proteções correspondentes.

4.3 - Soluções para Evitar Sobretensões

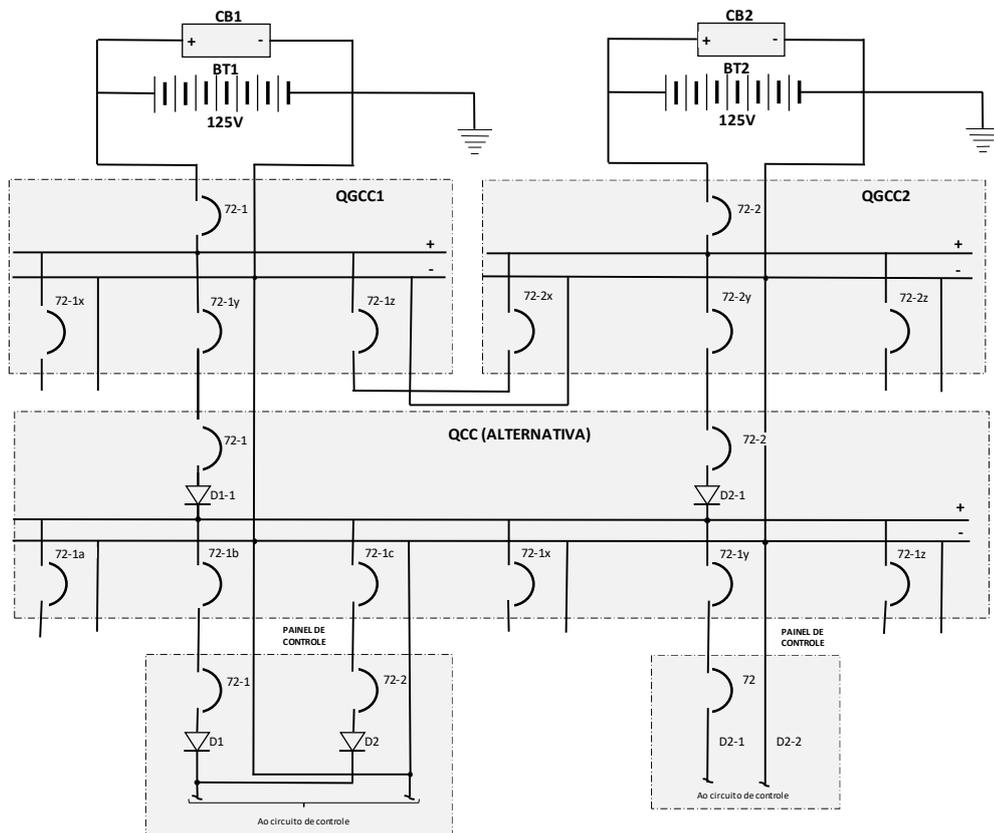
Existem duas soluções para evitar as sobretensões que podem ocorrer nos sistemas de corrente contínua, provocadas pela utilização dos diodos nas instalações.

A primeira solução é aterrar um dos polos das duas fontes de corrente contínua, porém, o sistema vai perder em confiabilidade, uma das suas características importantes, que é a possibilidade continuar operando quando um dos polos do sistema vai à terra.

A seguir está mostrado o diagrama bifilar da configuração básica considerada (paralelismo nos painéis de controle local):



A seguir está mostrado o diagrama bifilar da configuração alternativa (paralelismo nos quadros de distribuição de corrente contínua):

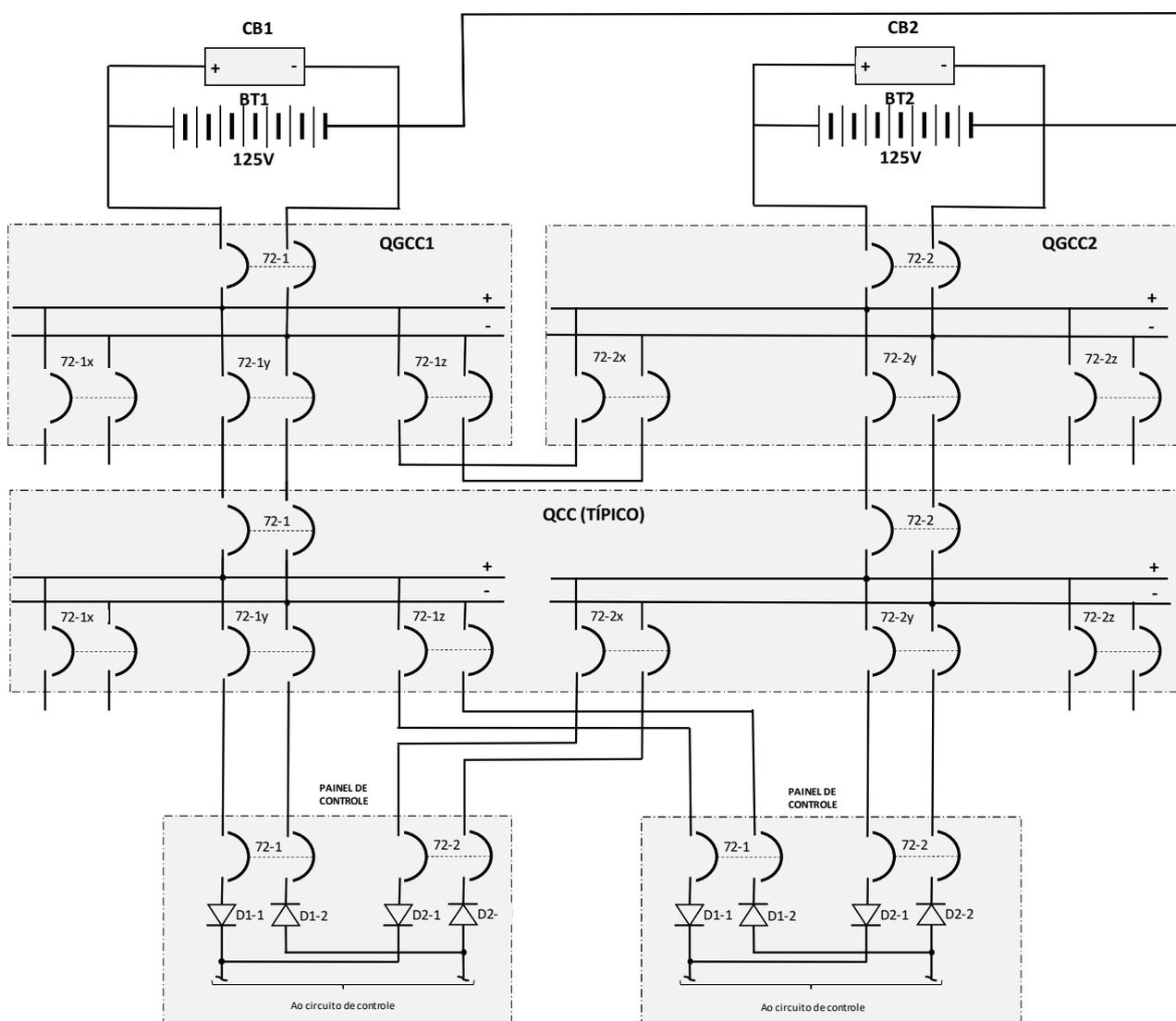


Nesta solução, qualquer defeito à terra provocará o desligamento do circuito defeituoso. Se esta solução for adotada, não é necessário que os disjuntores dos circuitos sejam bipolares, pois o sistema é aterrado.

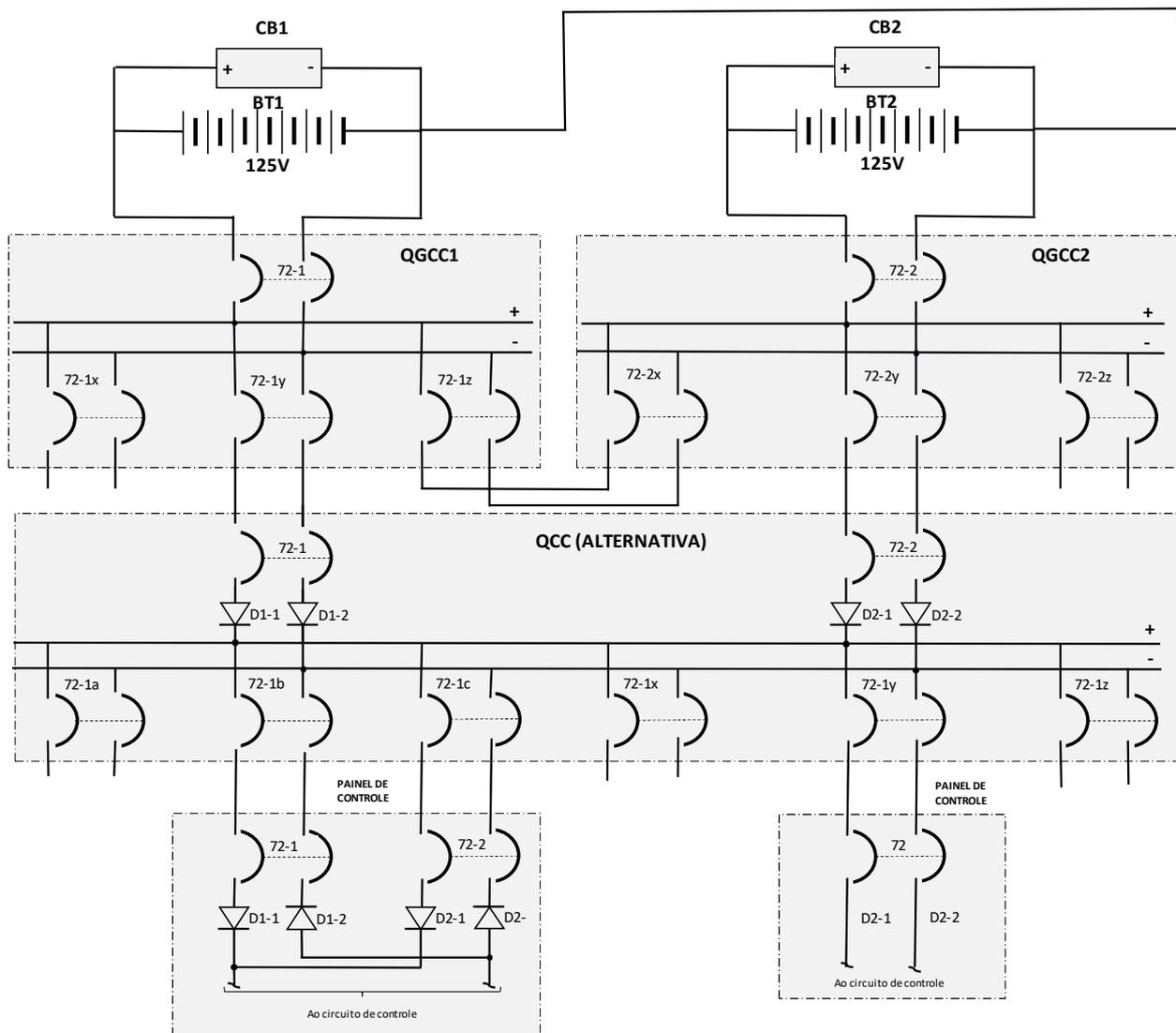
A segunda solução é a de interligar um dos polos de mesmo nome dos dois sistemas, ou seja, interligar os polos positivos ou os polos negativos dos conjuntos baterias carregadores. Esta ligação deve ser feita na origem, ou seja, nos conjuntos de carregadores e baterias para garantir que não seja interrompida. Esta solução é a recomendada, pois evita os problemas de sobretensão, mostrado nos itens anteriores, e mantém as vantagens dos sistemas isolados.

Nesta solução, em caso de defeito em um dos polos, o sistema continuará operando.

Esta solução para a configuração básica, interligando os polos negativos dos conjuntos bateria carregador, está representada no diagrama bifilar da figura a seguir:



Esta solução para a configuração alternativa, interligando os polos negativos dos conjuntos bateria carregador, está representada no diagrama bifilar da figura a seguir:



4.4 - Avaliação das Soluções

O risco de ocorrer sobretensão no sistema de corrente contínua, em função da utilização de diodos para transferir as fontes de alimentação dos circuitos, deve ser feita pelo usuário. O problema é que, na maioria das vezes, o usuário desconhece o risco e, por esse motivo, não toma nenhuma providência.

Como visto anteriormente, a sobretensão vai ocorrer se ocorrer o segundo defeito à terra e esse defeito ocorrer no polo oposto da outra fonte, ou seja, se o primeiro defeito ocorrer no polo positivo de uma fonte e o segundo defeito ocorrer no polo negativo da outra fonte. O valor da sobretensão vai depender da solidez do defeito, das resistências dos circuitos e das correntes das cargas. Como as correntes das cargas normalmente não são elevadas, ainda que as conexões à terra sejam fracas, os pontos de defeito podem causar sobretensões em todos os circuitos de controle da usina ou instalação. As sobretensões, mesmo que não atinjam níveis a ponto de dobrar a tensão do sistema, provocarão a queima dos componentes de alguns circuitos e, na medida que forem ocorrendo as queimas, as correntes das cargas diminuirão, facilitando a circulação das correntes, com o consequente aumento da tensão nas instalações. Como esse risco pode ser resolvido de uma maneira relativamente simples, não se devem correr esses riscos.

Com o passar dos anos as instalações vão ficando mais sujeitas a defeitos e as falhas à terra passam a ser mais frequentes. Por esse motivo uma das soluções para evitar sobretensões deve ser adotada.

O aterramento dos sistemas ou a interligação de polos dos sistemas é necessária para evitar o risco de sobretensões em todas as cargas da instalação, pois valores das sobretensões e as suas consequências são imprevisíveis.

A solução de interligar os polos é mais indicada, pois o sistema mantém as características do sistema com os dois polos isolados da terra e, se ocorrer um segundo defeito, não ocorrerão problemas de sobretensão. Por esse motivo, a partir deste ponto, somente será analisada a configuração do sistema com polos interligados.

A solução alternativa é mais econômica, pois o paralelismo das fontes é feito nos quadros de distribuição e, a partir deles, sai apenas uma alimentação para cada circuito de controle. Em caso de alguma exigência, podem ser feitas duas alimentações, mas a mesma configuração da solução básica deve ser adotada no destino para que, em caso de defeito em um dos alimentadores, o outro possa continuar operando normalmente.

A solução básica recomendada é a mais confiável em termos de alimentação, pois os alimentadores são duplicados até o destino, onde o paralelismo das fontes é feito.

5 - INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS - GENERALIDADES

Por não se tratar de especificações ou manuais de equipamentos, e apesar de não ser o objetivo específico deste informativo, serão feitas algumas considerações sobre as instalações e equipamentos de corrente contínua.

5.1 - Proteções e Seletividade

Em função dos diversos níveis de proteção poderá ser difícil garantir a seletividade entre todas as proteções.

5.1.1 - Proteção dos Diodos

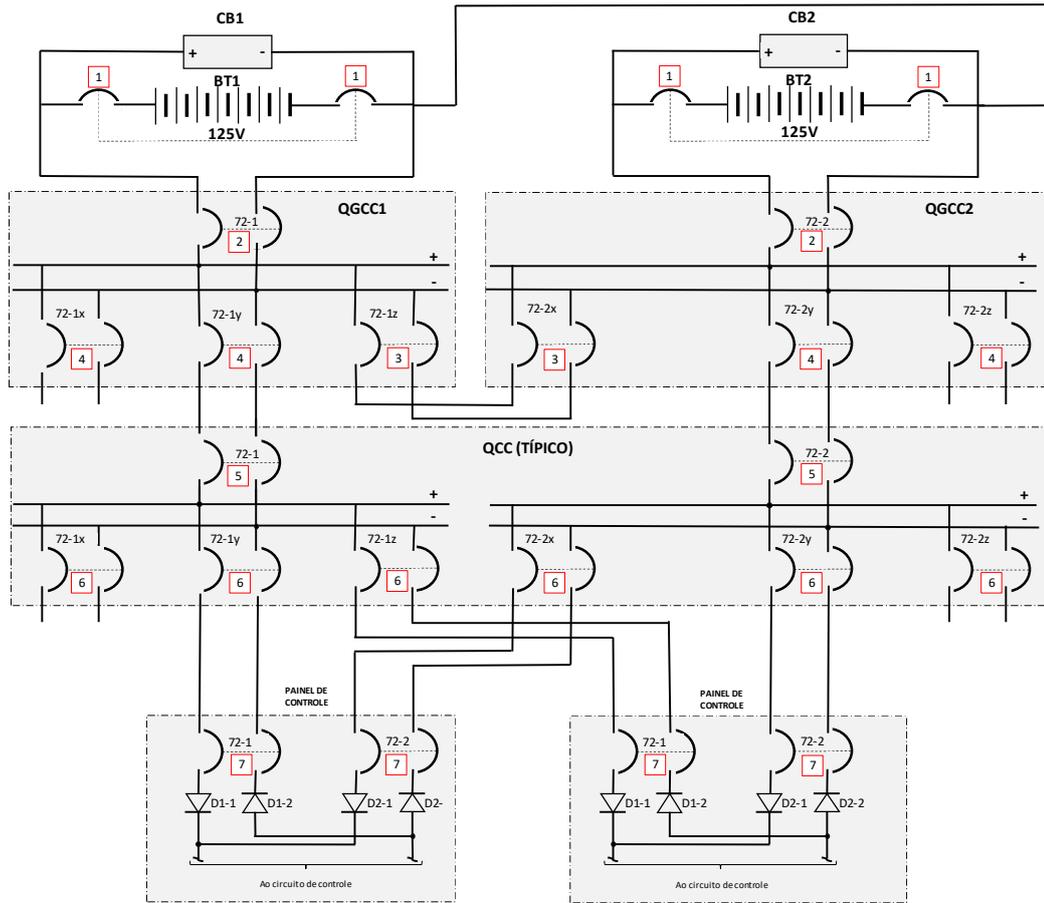
A proteção de todos os diodos da instalação deverá ser garantida pelos dispositivos (fusíveis ou disjuntores), de modo que a energia passante do dispositivo de proteção seja sempre inferior a energia passante suportada pelo diodo protegido. Esta garantia é importante para garantir que, em caso de defeito no circuito de controle, os dispositivos de proteção atuem sem que ocorram danos nos diodos. A corrente nominal dos diodos também deverá ser compatível com os circuitos alimentados.

5.1.2 - Seletividade das Proteções

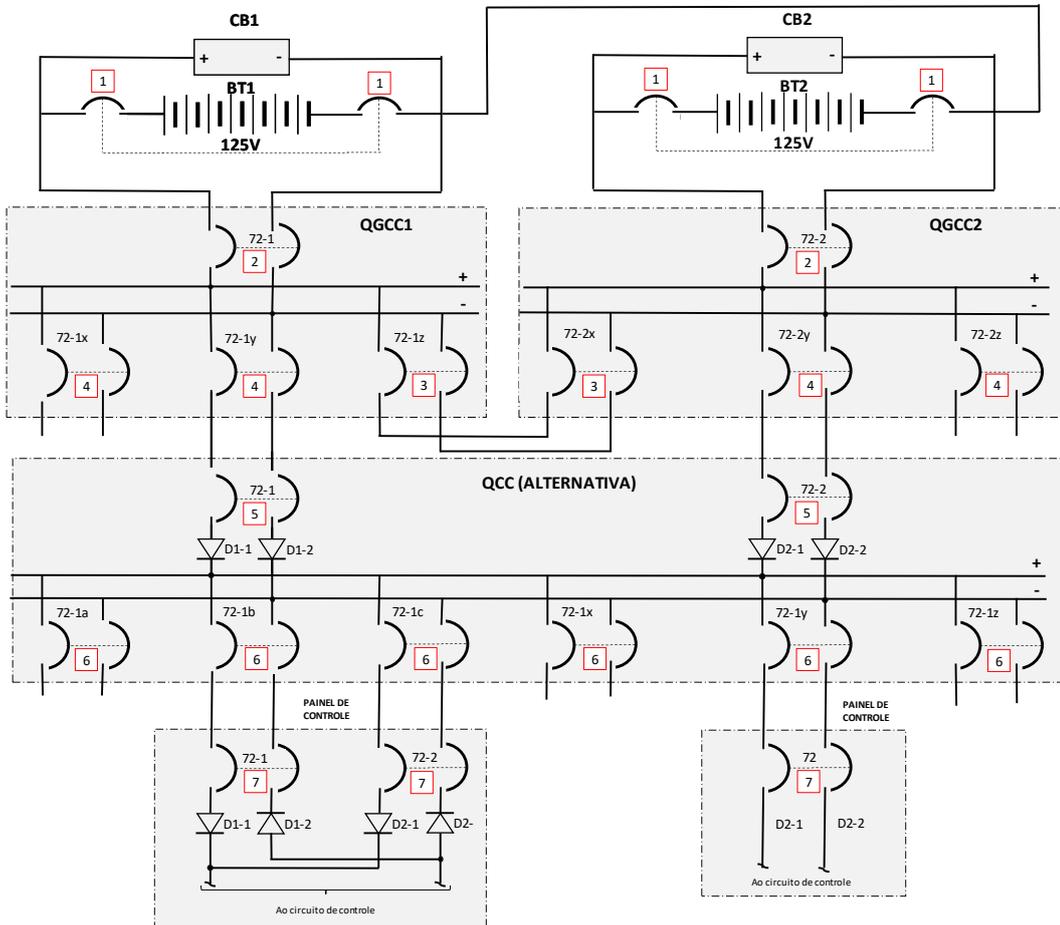
A coordenação e seletividade das proteções dos circuitos envolvidos é uma atividade que deve ser bem estudada para garantir a continuidade da operação do sistema de corrente contínua e, conseqüentemente, da instalação. Todos os recursos disponíveis devem ser utilizados, entre os quais citamos a grande quantidade de informações fornecidas pelos fabricantes de minidisjuntores, disjuntores de caixa moldada e, se necessário, combinados com fusíveis. Os cálculos das correntes de curto circuito, máximas e mínimas em todos os pontos, também devem servir de subsídio para definir as proteções e sua integração e, com essas informações, definir o tipo de coordenação mais adequado. A seletividade entre todas as proteções de uma instalação sempre deve ser o objetivo de qualquer estudo.

Nos diagramas a seguir estão indicados números, junto às proteções, que indicam o nível de seletividade da proteção. Números diferentes indicam seletividade entre as proteções; mesmos números indicam mesmo nível de seletividade.

O diagrama abaixo indica a seletividade em todos os níveis da configuração básica, ou seja, a melhor das possibilidades:



O diagrama abaixo indica a seletividade em todos os níveis da configuração alternativa:

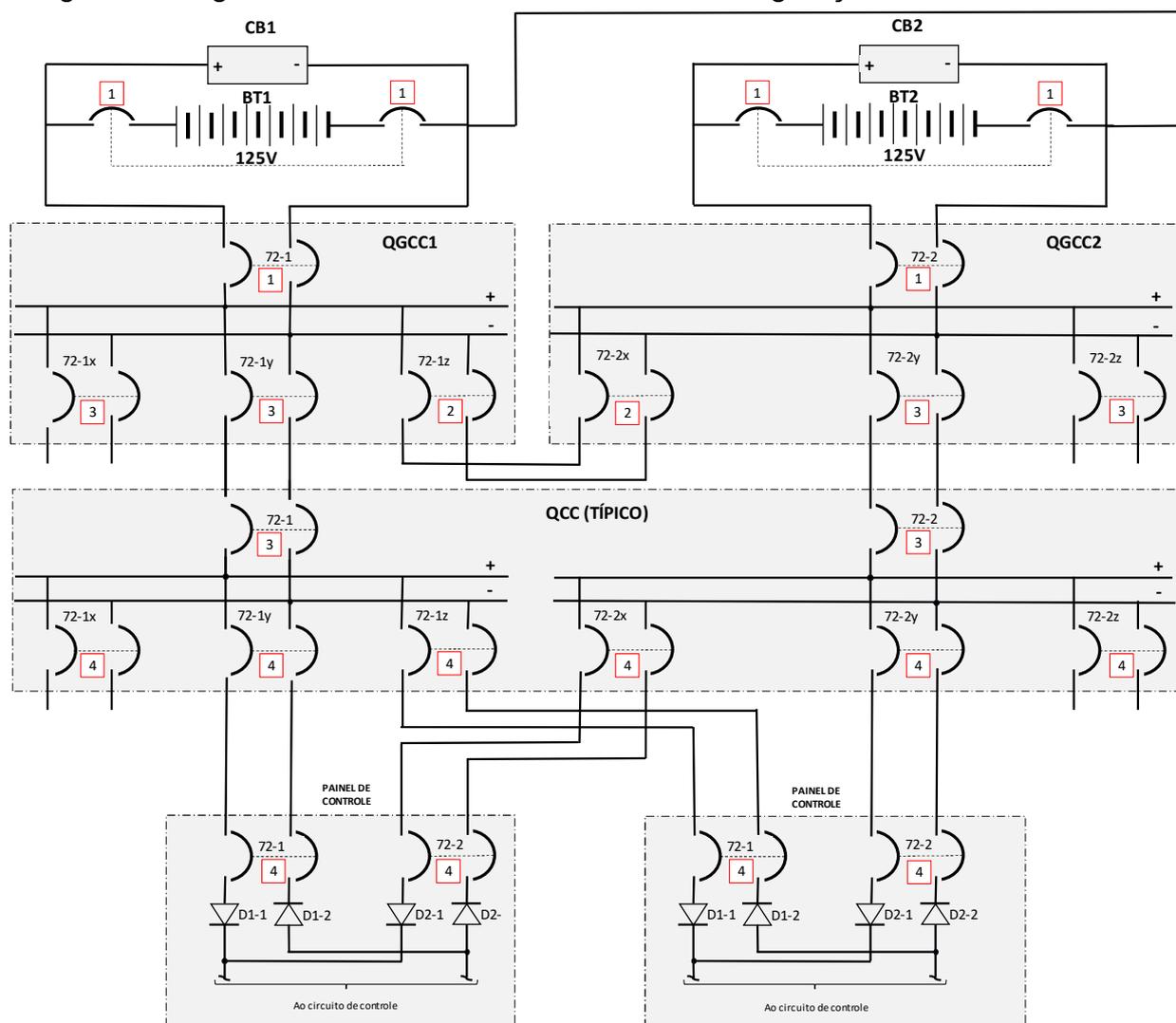


As proteções dos circuitos locais de controle (Painel de Controle) na maioria das vezes são definidas pelos fornecedores dos equipamentos e, por esse motivo pode ser difícil uniformizar suas características. Entretanto, sempre que possível, se deve procurar otimizar sua integração ao sistema da usina.

Os diodos dos quadros de distribuição e dos circuitos de controle têm a função de garantir a continuidade da alimentação das cargas quando falta uma das fontes, o que ocorre inclusive durante um defeito. Quando ocorre um defeito em qualquer ponto a jusante dos diodos, as proteções envolvidas atuarão.

Como nem sempre se pode obter a seletividade total de um sistema, é necessário estabelecer prioridades para garantir a continuidade da operação da instalação. Os diagramas a seguir indicam um nível mínimo de seletividade entre as proteções.

O diagrama a seguir indica a seletividade mínima da configuração básica:



A seletividade entre proteção da bateria (1) e da entrada do quadro geral QGCC (1) pode ser relevada. Se ocorrer um defeito na barra do QGCC as proteções da entrada do quadro e da bateria deverão atuar e falta de seletividade não vai alterar a condição de operação da instalação. Se ocorrer um defeito no alimentador do QGCC, apenas a proteção da bateria deverá atuar. O carregador de bateria tem sua própria proteção que não necessita entrar no estudo.

Se os quadros gerais QGCC1 e 2 estiverem interligados, as proteções dos circuitos de interligação poderão ter o mesmo nível de seletividade (2). Em caso de defeito na barra do quadro alimentado a proteção da interligação operará, mas em caso de defeito em uma das

saídas do quadro geral alimentado, somente o circuito defeituoso será isolado e o restante da instalação continuará operando normalmente.

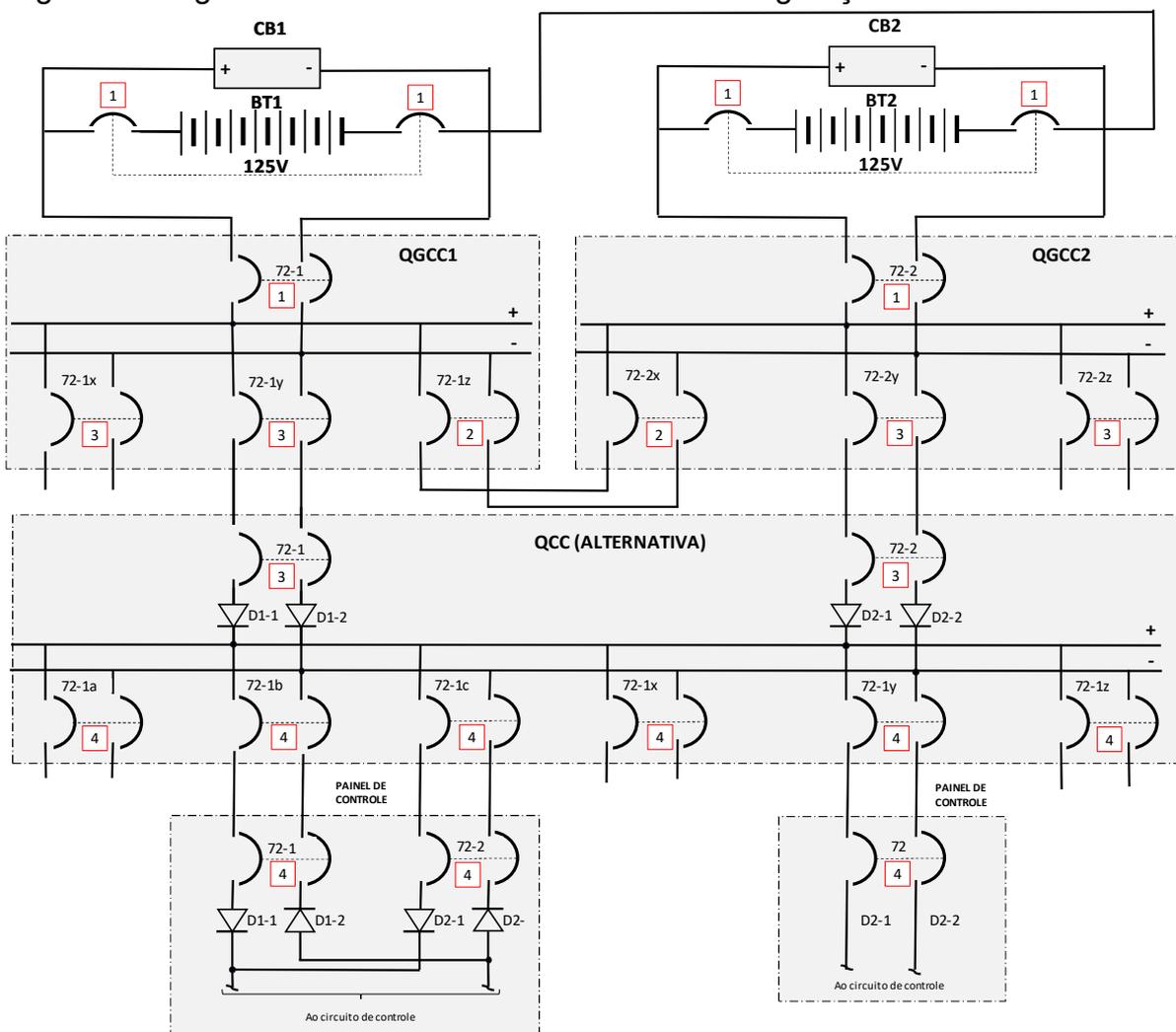
A seletividade entre a proteção da entrada do quadro geral QGCC (1) e proteções dos circuitos de saída (3) deve ser garantida, pois se ocorrer um defeito em qualquer saída as demais saídas poderão continuar operando normalmente.

A seletividade entre as proteções das saídas do QGCC (3) e das entradas dos quadros de distribuição QCC (3), poderá ser relevada, pois se ocorrer um defeito na barra de um dos quadros de distribuição QCC, as duas proteções deverão operar; se o defeito ocorrer no alimentador do quadro de distribuição QCC, apenas a proteção da saída do quadro QGCC deverá operar.

A seletividade entre a proteção da entrada do quadro de distribuição QCC (3) e proteções dos circuitos de saída (4) deve ser garantida, pois se ocorrer um defeito em qualquer saída as demais saídas poderão continuar operando normalmente.

A seletividade entre as proteções das saídas do quadro de distribuição QCC (4) e das entradas dos painéis de controle (4), poderá ser relevada, pois se ocorrer um defeito no circuito de controle do painel, as duas proteções deverão operar; se o defeito ocorrer no alimentador do painel de controle, apenas a proteção da saída do quadro QCC deverá operar. Observar que, caso ocorra um defeito no circuito do painel de controle, as proteções das duas fontes de alimentação operarão, pois o circuito de controle defeituoso será alimentado pela outra fonte, na falta da primeira.

O diagrama a seguir indica a seletividade mínima da configuração alternativa:



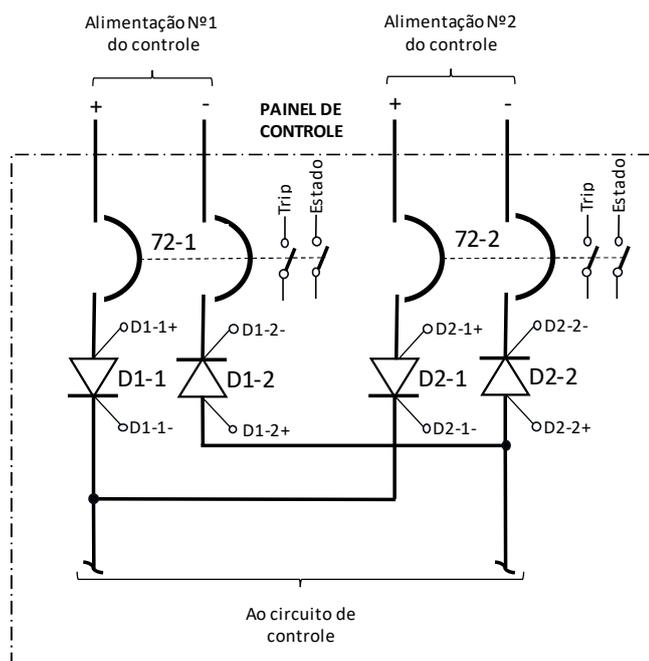
5.2 - Localização de Falha à Terra

A localização de falha à terra em circuitos de corrente contínua não é uma tarefa simples de ser realizada, porque sempre envolve riscos de interrupção da alimentação de algum circuito, que pode comprometer a continuidade da operação de sistemas e até da instalação. Entretanto, como existem instrumentos que permitem localizar os pontos defeituosos de um circuito, este informativo se limitará a analisar algumas alternativas e medidas de segurança para desligar os circuitos alimentadores de corrente contínua.

Na configuração básica do sistema de corrente contínua, com a interligação dos polos positivos ou negativos, os circuitos até a carga, onde é feito o paralelismo entre as fontes, estão mais sujeitos a defeitos à terra do que a configuração alternativa, pois possui, praticamente, o dobro de circuitos alimentadores de cargas do que a configuração alternativa, onde o paralelismo de fontes é feito nos quadros de distribuição.

O desligamento de alimentadores nos painéis de controle com dupla alimentação também é uma operação que deve ser feita com cuidado pois existem riscos de interromper a alimentação. Alguns destes riscos serão descritos mais adiante.

O circuito a seguir é a configuração básica de uma alimentação de circuito de controle em corrente contínua, onde foram introduzidos bornes para realizar medições nos diodos. O acesso aos diodos, através de bornes terminais, para permitir as medições facilita os serviços de manutenção e avaliação das condições dos circuitos:

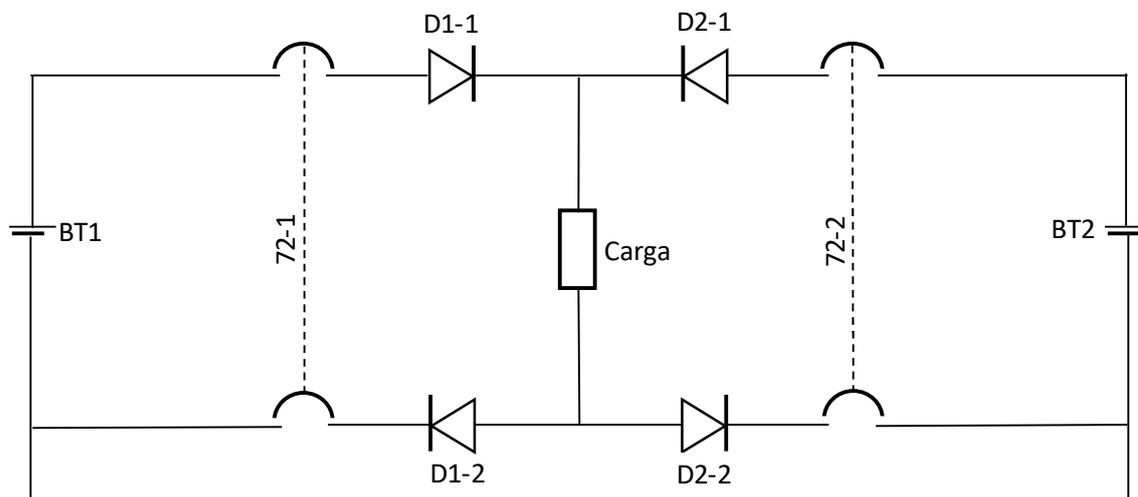


Independentemente de ser necessário desligar uma das fontes de alimentação de um circuito de controle e mantê-lo alimentado pela outra fonte, a verificação do estado dos diodos deve ser feita rotineiramente, pois se eles estiverem com problemas, o desligamento de uma das fontes poderá interromper a alimentação do circuito. Como os diodos podem estar abertos ou em curto as verificações devem prever estas possibilidades. Quando o circuito estiver em manutenção estas verificações podem ser feitas facilmente, porém, se o circuito estiver operando, eventuais desligamentos devem ser feitos com todas as precauções.

Os circuitos de controle que são alimentados por duas fontes de corrente contínua, através de diodos, podem ter uma das suas alimentações desligadas, desde que os diodos estejam sem defeito pois, inadvertidamente, de pode provocar a falta de tensão no circuito. Por exemplo, se um dos diodos de uma entrada estiver aberto, e a outra entrada de alimentação

for desligada, haverá a interrupção da alimentação de corrente contínua do circuito. Portanto, antes de interromper qualquer fonte de alimentação é necessário se certificar que os diodos das entradas estão operativos.

O diagrama a seguir representa, simplificada, o circuito elétrico da alimentação de um controle de um sistema de corrente contínua com negativos interligados (se forem os positivos interligados a situação será a mesma):



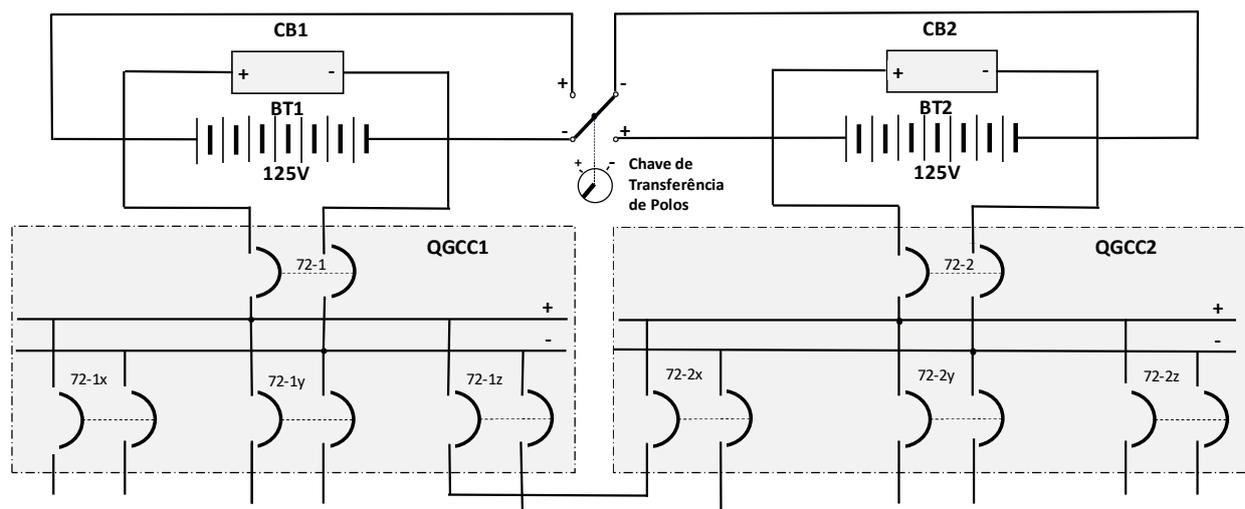
A tensão nos diodos que estiverem alimentando o circuito de controle deverá ser de aproximadamente 0,7V. Entretanto, deve-se observar que, como os percursos e circuitos de alimentação devem ser praticamente idênticos, se o circuito de controle estiver sendo alimentado através do diodo D1-1 ou D2-1, o retorno pode não ser pelo diodo D1-2 ou D2-2, respectivamente. Assim, por exemplo, se as duas alimentações estiverem ligadas, se a alimentação estiver sendo feita pelo diodo D1-1, se o diodo D1-2 estiver aberto, o retorno da alimentação ocorrerá, obrigatoriamente, pelo diodo D2-2. Portanto, se nessas condições o disjuntor 72-2 for aberto para que a alimentação ocorra pelo disjuntor 72-1, a alimentação do circuito de controle será interrompida. As tensões dos diodos devem ser medidas e, na situação mencionada, os diodos D2-1 e D2-2 deveriam indicar a tensão de 0,7V.

A tensão na entrada da alimentação do controle, antes dos diodos, deve ser, aproximadamente, 1,4V superior à tensão do circuito de controle.

Se todos os diodos estiverem operando corretamente e ocorrer que a alimentação esteja sendo feita pelo diodo D1-1 e o retorno pelo diodo D2-2, e se abrir o disjuntor 72-2, o retorno da alimentação passará, automaticamente, a ser feita pelo diodo D1-2, sem causar nenhuma interrupção na alimentação do controle.

No caso da utilização da configuração do sistema de corrente contínua, com a interligação de um dos polos de mesmo nome, em caso de defeito à terra no circuito de polos interligados, os sensores à terra dos dois sistemas acusarão o defeito. Se o defeito à terra ocorrer em um circuito do polo não interligado, somente o sistema em que ocorreu a falha acusará o defeito.

Para auxiliar na localização da falha à terra, poderá ser utilizada uma chave, ou outro dispositivo, para inverter os polos interligados e, dessa forma, se a falha à terra ocorrer em um circuito do polo interligado e os sensores à terra dos dois sistemas sinalizarem o defeito, através da chave poderá ser feita a transferência da interligação de polos, ou seja, em vez de manter interligados os polos negativos ou positivos dos dois sistemas, se interligam os polos positivos ou negativos, respectivamente e, as sinalizações somente acusarão o defeito no sistema afetado.



Ao realizar esta transferência de polos se deve ter cuidado, pois se tiverem ocorrido dois defeitos à terra, um em cada sistema e em polos diferentes, ao interromper a interligação, para realizar a transferência de polos interligados, poderá ocorrer a situação que provoque a sobretensão que se quer evitar.

A probabilidade de ocorrer sobretensão, na configuração alternativa é muito menor, porque a quantidade e qualidade de circuitos sujeitos a provocar esse problema são poucos e se resumem a alimentadores dos quadros de distribuição.

5.3 - Baterias

A seguir são feitas algumas considerações sobre as baterias normalmente utilizadas em usina hidrelétricas.

5.3.1 - Tipo

A evolução das baterias seladas é inegável e seu uso está consolidado, pois têm a mesma confiabilidade, duração e garantias que as baterias ventiladas ofereciam, sendo que as necessidades de manutenção e operação das baterias seladas são muito menores. Entretanto, como muitas instalações ainda têm baterias ventiladas, este tipo também será considerado em algumas avaliações.

Para novas instalações e substituição de baterias existentes, a utilização de baterias eladas devem ser consideradas preferenciais.

5.3.2 - Capacidade Nominal

O cálculo da capacidade das baterias depende das informações das cargas e das condições de operação consideradas. As cargas momentâneas, com duração de até 1 minuto, são afetadas pela queda de tensão, mas não são determinantes para a definição da capacidade da bateria. As cargas permanentes e de curta duração são as que definem a capacidade da bateria. Portanto, os valores reais dos consumos e condições de operação são as informações mais importantes a serem obtidas.

Frequentemente, os responsáveis pela definição dos consumos, por comodidade, informam os valores das potências das fontes como os valores dos consumos das cargas. Como as potências das fontes têm, normalmente, potências muito superiores aos consumos das cargas, a capacidade nominal das baterias acaba ficando muito superior à necessária. Portanto, é necessário estar atento a estas informações. Por exemplo, a corrente de todas as cargas de corrente contínua de uma unidade geradora, excluindo eventuais motores em corrente contínua, com tensão nominal de 125V, é da ordem de 10 a 15A.

A capacidade nominal das baterias é definida para uma tensão final de descarga, tempo de descarga e temperatura do eletrólito. Os fabricantes fornecem os dados necessários para dimensionar corretamente as baterias em função de outros valores de correntes de descarga, tensão final por elemento e temperatura do eletrólito ou ambiente. Portanto, é importante estar atento a estas informações para evitar equívocos na escolha da bateria correta.

Em usinas hidrelétricas, onde normalmente é utilizada a recomendação do IEEE Std 485, a capacidade nominal das baterias é definida em Ampère-Hora, referida a um tempo de descarga de 10 horas, temperatura do eletrólito 25°C e tensão final de descarga de 1,75V/elemento.

5.3.3 - Número de Elementos

O número de elementos de uma bateria, frequentemente é definido como 60 elementos para sistemas de 125V nominais. As memórias sempre partem do princípio que as baterias terão 60 elementos, que é um número quase consagrado de elementos, e encontram uma maneira de chegar a esse número. Por exemplo, um sistema de corrente contínua definido para a tensão nominal de 125V (+10%, -20%), ou seja, entre 100 e 137,5V e, arbitrando uma queda de tensão de 5V da bateria até a carga, a tensão da bateria no final de descarga deveria ser 105V. Como as capacidades nominais das baterias são definidas para uma descarga de 10 horas, com tensão final de descarga de 1,75V por elemento, se considera que o número de elementos deveria ser, o número mágico, 60:

$$\text{Numero de elementos} = \frac{105}{1,75} = 60$$

Quando a bateria entra em regime de descarga, em pouco tempo a tensão dos elementos cai da tensão de flutuação para a tensão nominal de 2V/elemento. Se for arbitrada a tensão final de descarga da bateria em 105V, para permitir uma queda de tensão de 5V, desde a bateria até o consumidor, a tensão inicial da bateria, quando começa o ciclo de descarga, dependerá do número de elementos.

Se considerarmos situações extremas e absurdas, para limitar a tensão do sistema em 137,5V e a tensão final de descarga seja 105V, o número de elementos seria:

$$\text{Numero Máximo de elementos} = \frac{137,5}{2,0} = 68$$

$$\text{Numero Mínimo de elementos} = \frac{105}{2,0} = 53$$

Com o número máximo de elementos a tensões de flutuação, carga de equalização e profunda seriam extremamente altas e, com o número mínimo, a bateria em poucos minutos de operação, estaria na tensão final de descarga. Portanto, a escolha do número de elementos deve atender critérios que serão considerados adiante.

5.3.3.1. Número de Elementos das Baterias Ventiladas

Quando são utilizadas baterias ventiladas de 2V/elemento, a tensão de flutuação é aproximadamente 2,2V/elemento, de equalização 2,4V/elemento podendo chegar a 2,8V/elemento para carga profunda.

Para que a tensão máxima do sistema (137,5V) seja respeitada, o número máximo de elementos para cada situação será:

$$\text{Numero Máximo de elementos (flutuação)} = \frac{137,5}{2,2} = 62$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (equalização)} = \frac{137,5}{2,4} = 57$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (carga profunda)} = \frac{137,5}{2,8} = 49$$

Como o número mínimo de elementos deve ser 53, a alternativa de 49 elementos deve ser descartada.

Com o número de 57 elementos a tensão de flutuação será $57 \times 2,2 = 125,4V$ e a tensão de equalização será $57 \times 2,4 = 136,8V$.

Com o número de 62 elementos a tensão de flutuação será $62 \times 2,2 = 136,4V$ e a tensão de equalização será $62 \times 2,4 = 148,8V$.

A solução a ser adotada deverá ser a de utilizar uma bateria com 57 elementos, pois o sistema de corrente contínua operará a maior parte do tempo, que ocorre com a bateria em flutuação, com a tensão de 125,4V, muito próxima da tensão nominal de 125V.

5.3.3.2. Número de Elementos das Baterias Seladas

Quando são utilizadas baterias seladas de 2V/elemento, a tensão de flutuação é aproximadamente 2,25V/elemento e a de equalização pode atingir 2,35V/elemento.

Para que a tensão máxima do sistema (137,5V) seja respeitada, o número máximo de elementos para cada situação será:

$$\text{Numero Máximo de elementos (flutuação)} = \frac{137,5}{2,25} = 61$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (equalização)} = \frac{137,5}{2,35} = 58$$

As duas soluções atendem o número mínimo e máximo de elementos da bateria.

Com o número de 58 elementos a tensão de flutuação será $58 \times 2,25 = 130,5V$ e a tensão de equalização será $58 \times 2,35 = 136,3V$.

Se adotarmos a solução de utilizar baterias com 57 elementos a tensão de flutuação será $57 \times 2,25 = 128,25V$ e a tensão de equalização será $57 \times 2,35 = 133,95V$.

Se adotarmos a solução de utilizar baterias com 56 elementos a tensão de flutuação será $56 \times 2,25 = 126,0V$ e a tensão de equalização será $56 \times 2,35 = 131,6V$.

As soluções de utilizar baterias com 56, 57 ou 58 elementos podem ser adotadas, sendo que com 56 elementos o sistema de corrente contínua operará a maior parte do tempo com a tensão de 126,0V, mais próxima da nominal 125V a tensão de equalização bem abaixo da tensão máxima que é 137,5V.

5.3.4 - Cálculo da Tensão Final dos Elementos

O cálculo da tensão final dos elementos da bateria deve considerar as características da instalação como, por exemplo, correntes das cargas, comprimento dos alimentadores e quedas de tensão admissíveis nas cargas. Estas informações podem ser definidas através de simulações preliminares, que permitam definir a tensão mínima da bateria.

Considerando que a tensão final de descarga da bateria seja 105V, para o cálculo da capacidade da bateria, a tensão final dos elementos será dada pela fórmula a seguir:

$$\text{Tensão Final por Elemento} = \frac{\text{Tensão Mínima da Bateria}}{\text{Número de Elementos}}$$

Para 56 elementos: 1,87V/e

Para 57 elementos: 1,84V/e

Para 58 elementos: 1,81V/e

5.3.5 - Manutenção

A manutenção das baterias deve ser feita de acordo com as recomendações dos fabricantes e, nos tempos definidos, realizar os ensaios de descarga para verificar se a capacidade da bateria ainda atende a capacidade de 80% da capacidade nominal, pois as memórias de cálculo das baterias consideram o fator de envelhecimento de 1,25, ou seja, se a capacidade calculada da bateria é de 80Ah se deve especificar uma de 100Ah (80x1,25).

Após a ocorrência de uma descarga, as baterias devem ser carregadas para permitir, pelo menos, que em caso de nova ocorrência, o sistema possa operar com segurança.

O que se verifica é que as providências acima não são cumpridas em muitas instalações.

5.3.6 - Conclusão

A definição do número de elementos de uma bateria não deve ser arbitrada, mas calculada com base nas necessidades da instalação. Utilizar menos elementos para uma bateria com a mesma corrente de descarga, mas tensão final de descarga maior, implicará em um aumento da capacidade nominal da bateria, pois a tensão inicial de descarga da bateria será menor. Por exemplo, a tensão inicial teórica de descarga de uma bateria com 57 elementos será de 114V em vez dos 120V da bateria com 60 elementos e, para atender a tensão final de descarga da bateria de 105V, a tensão final de descarga por elemento será 1,84V/elemento para bateria com 57 elementos e 1,75V/elemento para bateria com 60 elementos.

A capacidade nominal de uma bateria, definida para um tempo de descarga de 10 horas e tensão final de 1,75V/elemento não quer dizer que não possa ser dimensionada para outros tempos de descarga e outras tensões finais por elemento como, por exemplo, um tempo de descarga de 5 horas e tensão final de descarga de 1,70V/ elemento.

Os fabricantes fornecem as informações para equalizar os cálculos das capacidades nominais, tempos de descarga e tensão final por elemento das suas baterias, e referi-las ao tempo de descarga e tensão final por elemento calculadas pelo usuário.

As baterias dimensionadas para uma tensão final de descarga de 1,75V por elemento, terão a sua tensão reduzida gradualmente no processo de descarga, desde a tensão nominal de 2,0V até 1,75V por elemento, passando por todos os valores intermediários. A diferença é que, se a tensão final por elemento calculada for de 1,84V, quando a tensão da bateria atingir esse valor, teoricamente, a bateria é considerada descarregada para a aplicação que foi calculada. Portanto, até intuitivamente, se pode deduzir que a mesma bateria pode ser considerada descarregada para uma aplicação e ainda carregada para outra. Por exemplo, para uma corrente de descarga de 40A, durante 10 horas e tensão final de descarga de 1,75V por elemento, a capacidade nominal da bateria será de 400Ah; a mesma bateria, para o mesmo tempo de descarga, mas tensão final de descarga de 1,85V por elemento, fornecerá uma corrente de 37,7A; ainda a mesma bateria, com tensão final por elemento de 1,80V, para um tempo de descarga de 6 horas fornecerá uma corrente de 48A.

5.4 - CARREGADORES DE BATERIAS

Por se tratar de sistema vital de uma instalação, o sistema de corrente contínua deve ser simples e seguro. Entretanto, a inclusão de alguns recursos dispensáveis e a omissão de outros, tornam os carregadores mais sujeitos a falhas. Os itens mais importantes serão abordados a seguir.

5.4.1 - Unidade de Diodos de Queda

Para operar com tensões acima da tensão máxima (137,5V), os carregadores de bateria devem ser equipados com unidades de diodos de queda, para permitir a carga de equalização das baterias sem necessidade de isolar os conjuntos baterias carregadores do sistema.

Se a tensão do carregador for ajustada em 144V, para reduzir a tensão na carga, os fabricantes dos carregadores de baterias fornecem uma unidade de diodos de queda para manter a tensão do sistema com a tensão máxima, ou seja, 137,5V, o que equivale dizer que a unidade de diodos de queda é equipada com aproximadamente 10 diodos. Neste exemplo citado, os diodos de queda deverão reduzir a tensão em 6,5V (144V-137,5V).

A utilização de unidades de diodos de queda, para limitar a tensão nos consumidores nos valores máximos admissíveis, pode ser dispensada com a redução do número de elementos da bateria. Por exemplo, no caso de baterias seladas com 57 elementos, com tensão de flutuação de 2,25V por elemento, além de limitar a tensão no sistema durante a operação de carga ou equalização, as tensões de operação dos carregadores em condições de flutuação e/ou equalização serão:

$$\text{Tensão de Flutuação} = 57 \times 2,25 = 128,25V$$

$$\text{Tensão de Equalização} = 57 \times 2,35 = 133,95V$$

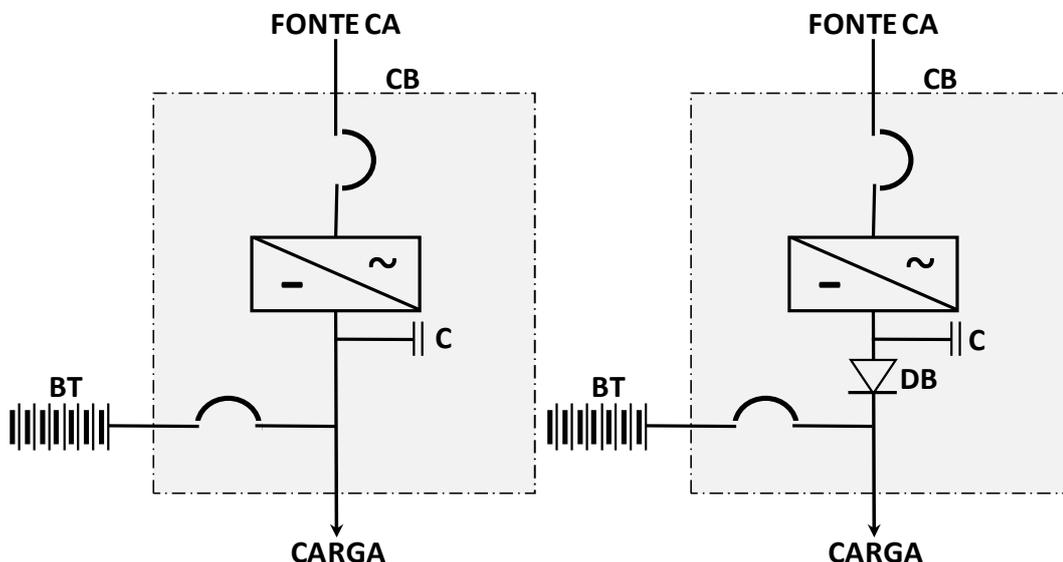
5.4.2 - Correção de Fator de Potência

Uma exigência desnecessária também é, para sistema auxiliares de corrente contínua de usinas hidrelétricas, a instalação de capacitores para correção de fator de potência na entrada dos carregadores.

Quando fornecida, a correção do fator de potência considera a potência nominal do carregador, ou seja, que um único carregador alimenta todas as cargas da usina e, simultaneamente, carrega a bateria a ele associada. Entretanto, a condição normal de operação é a de alimentar, no máximo, a metade da carga calculada da usina e, esta metade calculada, é maior do que a carga real. Portanto, não tem sentido corrigir o fator de potência do carregador, apenas se instalarão mais componentes sujeitos a falhas e encarecerão o equipamento.

5.4.3 - Diodo de Bloqueio

Na figura a seguir estão indicados os retificadores sem e com o diodo de bloqueio (DB):



Nos carregadores que não possuem o diodo de bloqueio, a sequência de energização do carregador deve, obrigatoriamente, começar pela energização do carregador através da fonte de corrente alternada, não sendo possível alimentar a carga ligando o disjuntor da bateria com o carregador desligado.

Como o retificador possui capacitores (C) nos filtros da saída, se o disjuntor da bateria for ligado com o retificador desligado (sem a fonte de tensão em corrente alternada) o pico de corrente de carga dos capacitores provocará a operação da proteção do disjuntor da bateria (ou queima dos fusíveis se existirem). Para evitar esse problema a instalação do diodo de bloqueio (DB) permitirá a energização do retificador em qualquer sequência, inclusive a alimentação da carga pela bateria com o retificador desligado.

5.4.4 - Recursos para Interligação de Polos

Os carregadores devem ser providos de recursos que permitam a interligação dos seus polos positivos ou negativos. Este recurso tem a finalidade de permitir a adoção da configuração básica do sistema para evitar as sobretensões.

5.4.5 - Operação em Paralelo

Os carregadores devem ser adequados para operação em paralelo.

5.4.6 - Sobressalentes

Um problema que ocorre quando se especificam carregadores de baterias é não adquirir alguns sobressalentes junto com os carregadores.

Normalmente, a área comercial prefere solicitar a informação dos custos avulsos dos sobressalentes para adquiri-los separadamente. Entretanto, como alguns sobressalentes dos carregadores são muito específicos e não podem ser adquiridos no mercado, o que ocorre, na melhor das hipóteses, é que sejam adquiridos do fabricante do carregador, mas não estão disponíveis nos ensaios de recebimento e comissionamento das instalações.

Quando adquiridos separadamente, os sobressalentes podem não ser idênticos aos fornecidos nos carregadores e, as eventuais alterações das configurações das placas, feitas durante os ensaios em fábrica ou durante o comissionamento das instalações, não são feitas nos sobressalentes. É comum que o fabricante faça alterações nas placas dos retificadores para corrigir algum problema ou melhorar o seu desempenho, porém não substituem as placas já fornecidas.

Os sobressalentes recomendados para ser adquiridos com os carregadores são, normalmente, apenas os que não são encontrados no mercado e são de fornecimento exclusivo do fabricante e, no mínimo, devem ser:

- Ponte de tiristores;
- Uma placa de cada tipo fornecida no retificador;
- Um transformador de cada relação especial;
- Uma IHM, se não estiver incluída nas placas fornecidas;
- Um diodo de bloqueio;

5.5 - QUADROS DE CORRENTE CONTÍNUA

Apesar deste informativo não ser uma especificação dos quadros de corrente contínua, se farão as observações mais relevantes sobre o painel local de controle e quadro de distribuição da configuração alternativa.

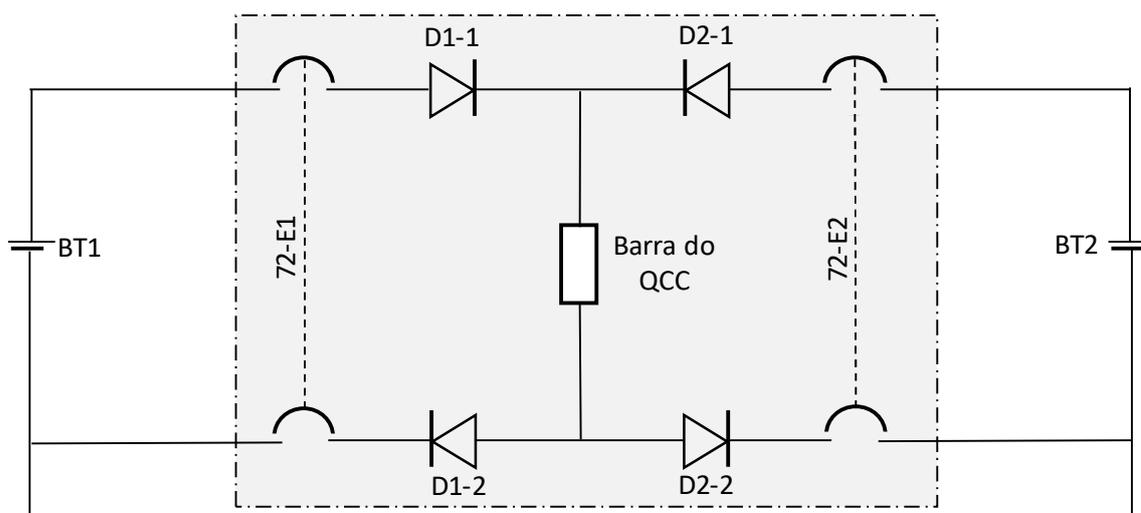
5.5.1 - Painel Local de Controle

Os painéis locais de controle devem ter as entradas e saídas, de todos os diodos, levadas a bornes, para facilitar as medições de tensão, continuidade e avaliação da sua integridade.

5.5.2 - Quadros de Distribuição de Corrente Contínua.

Os quadros de distribuição de corrente contínua da configuração alternativa têm as seguintes particularidades:

- A figura a seguir representa o circuito dos diodos de entrada dos quadros de distribuição, cujo funcionamento é idêntico aos dos circuitos de controle com duas alimentações:



A corrente de alimentação do quadro pode ocorrer através dos diodos D1-1 ou D2-1, mas o retorno pode não ocorrer, obrigatoriamente, pelos diodos D1-2 ou D2-2, respectivamente. Portanto, antes de abrir um disjuntor de entrada se deve estar certo da integridade dos diodos da outra alimentação.

- A medição das tensões nas entradas e na barra é feita com o mesmo voltímetro para que se possa utilizar o mesmo padrão de medição e se possa avaliar, pelas medições, se os diodos estão com problemas. Por exemplo, se em uma entrada o voltímetro estiver indicando 125,0V, a tensão na barra deverá indicar a tensão na ordem de 123,6V, devida à queda de tensão nos dois diodos.

- Os polos positivo e negativo, de todos os diodos, são levados a bornes da régua de terminais para permitir, com facilidade, efetuar as medições de tensão e continuidade dos diodos.

- Apesar das fugas à terra serem sinalizadas nos carregadores de baterias, as sinalizações e alarmes de positivo ou negativo à terra também são sinalizados localmente, para facilitar os serviços de operação e manutenção das instalações, no caso a localização e eliminação de falhas à terra.

- A representação da quantidade de saídas é apenas simbólica e deve ser definida na especificação.

Os quadros de distribuição de corrente contínua, da configuração alternativa estão representados, de forma simplificada, na figura a seguir:

