

Comparação da disponibilidade de diversas configurações energéticas redundantes de montagem em rack

Por Victor Avelar

White Paper N° 48

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Resumo executivo

As chaves de transferência e a distribuição de energia por circuito duplo para equipamentos de TI são utilizadas para aumentar a disponibilidade dos sistemas de TI. As técnicas estatísticas de análise da disponibilidade sugerem que são esperáveis grandes diferenças nos níveis de disponibilidade entre os diversos métodos utilizados habitualmente. Este White Paper analisa diversas arquiteturas elétricas que oferecem redundância e que são implementadas nos ambientes de missão crítica da atualidade. São incluídas as análises da disponibilidade de todos os casos considerados e apresentados os resultados. Esta análise identifica a abordagem que fornece a melhor performance geral e compara a performance e valor das diferentes alternativas.

Introdução

Os equipamentos com fontes de energia redundantes também são chamados de equipamentos de dois cabos, já que cada fonte de energia tem seu próprio cabo. O uso de equipamentos de dois cabos é uma “melhor prática” para ajudar na manutenção de um nível de disponibilidade de energia ótimo para os equipamentos de TI e fornece a redundância necessária para evitar os tempos de inatividade causados por uma falha única no sistema de distribuição de energia. Esta redundância adicional também facilita a manutenção do sistema de energia. Infelizmente, a maioria dos ambientes de missão crítica da atualidade não tem todos os benefícios que derivam da prática mencionada. Este White Paper apresenta diversas possibilidades de arquiteturas elétricas que podem ser implementadas nos data centers atuais. São incluídas as análises da disponibilidade de todos os casos considerados e apresentados os resultados.

Abordagens para a distribuição de energia nos racks

As seguintes ilustrações fornecem uma resenha de diversas abordagens para incrementar a disponibilidade de equipamentos montados em rack, porém, também podem ser aplicadas em equipamentos autônomos. Geralmente, uma determinada abordagem é selecionada visando atingir certo nível de disponibilidade; supostamente, as abordagens mais onerosas deveriam fornecer um nível mais alto de disponibilidade. As **Figuras 1 e 2** mostram como costuma ser distribuída a energia dentro de um rack nos data centers atuais.

Figura 1 – Configuração típica de alimentação em rack

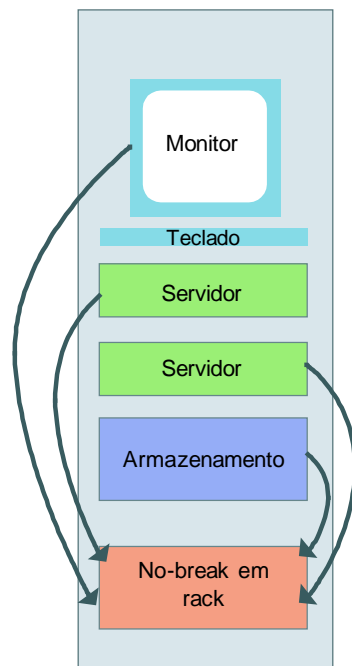
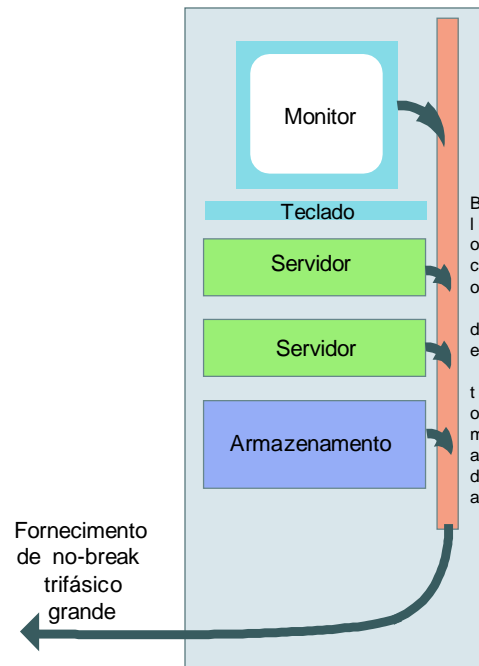


Figura 2 – Configuração típica de alimentação centralizada



A **Figura 1** mostra uma configuração típica de distribuição de energia em rack utilizada em salas de cabeamento e data centers pequenos ou médios. Esta configuração permite contar com racks de fácil deslocamento que incluem baterias de reserva e proteção contra surtos através do sistema no-break interno. Em data centers nos quais se utilizam dezenas ou centenas de racks, é mais comum a configuração da **Figura 2** com um no-break grande centralizado. Em nenhum dos dois casos se oferece energia redundante no fornecimento ao rack.

Outras arquiteturas elétricas utilizam dispositivos para comutar de uma fonte de energia primária para outra secundária. Dois exemplos deste tipo de dispositivos são a Chave de transferência estática (STS) e a Chave de transferência automática (ATS). Ambas as unidades têm potência de entre 1 kW aproximadamente e mais de 1 MW. Estes dispositivos se descrevem em detalhe no White Paper Nº 62 da APC: “Alimentação de equipamentos de cabo único em um ambiente de circuito duplo”. A seguir, mostram-se exemplos de ambas as chaves.



ATS trifásico de 6 kVA para montagem em rack



STS trifásico de 300 kVA

As **Figuras 3 e 4** mostram como, em algumas ocasiões, é distribuída a energia em grandes infraestruturas de missão crítica. Em ambos os casos, há dois circuitos redundantes que são conectados a uma STS. Porém, as fontes do serviço elétrico que alimentam o no-break podem ou não ser redundantes; tal eleição depende de fatores como o custo e a disponibilidade da subcentral de serviço elétrico. A única diferença entre os dois casos é que no da **Figura 3** é utilizado um único transformador downstream da chave estática, enquanto que no da **Figura 4** são utilizados transformadores redundantes upstream da chave estática. No entanto, em ambos os casos, a STS, o subpainel downstream e o cabeamento associado são possíveis

pontos de falha únicos. Estes métodos fornecem certo grau de redundância, mas os componentes restantes, que não têm redundância, representam um risco de se produzirem falhas e possíveis dificuldades para a manutenção.

Figura 3 – Redundância na carga com STS

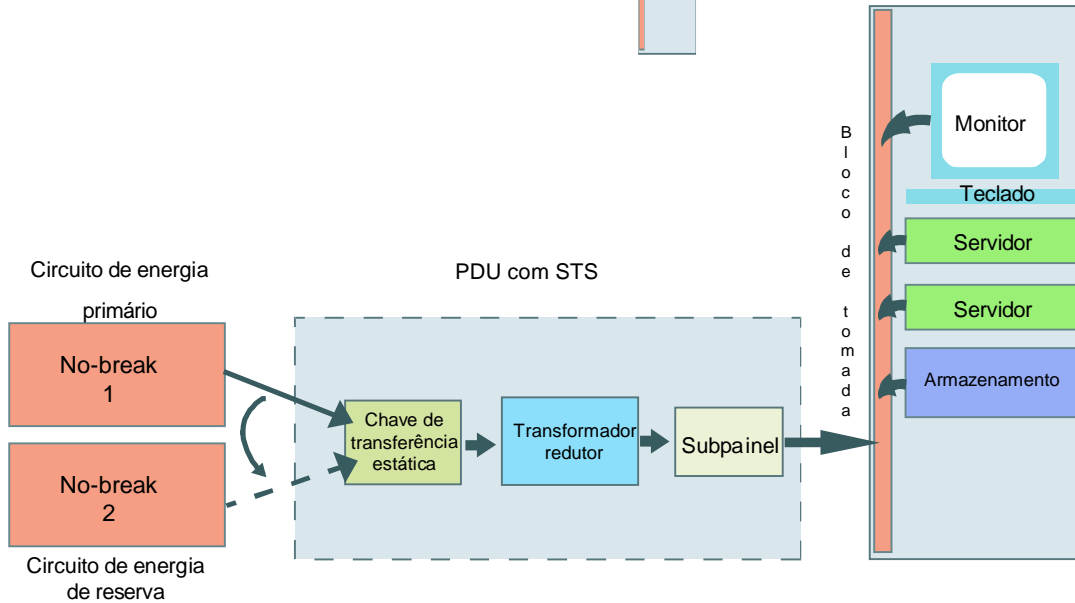
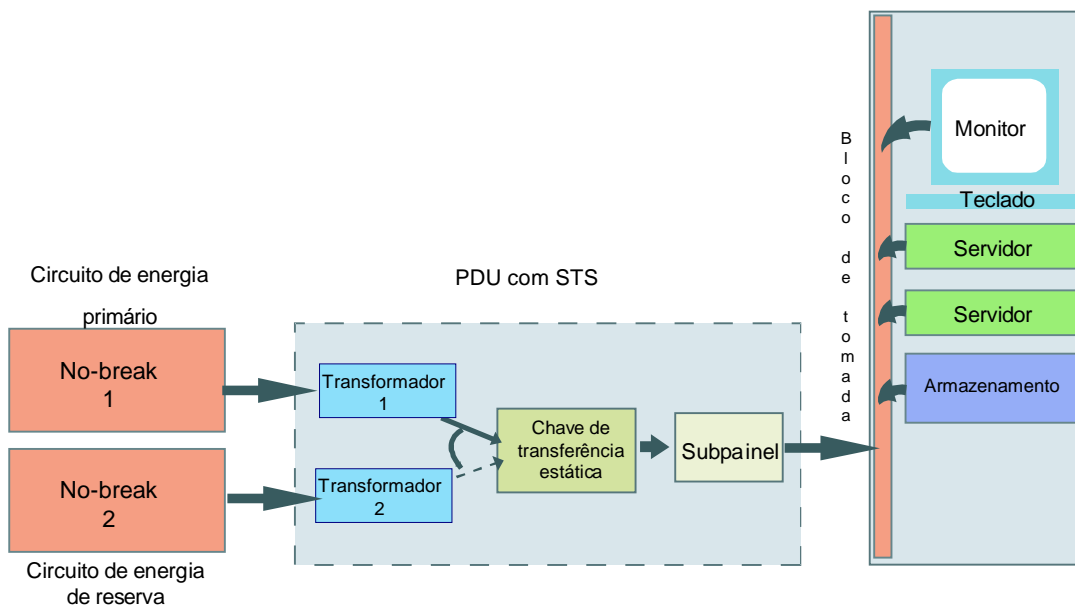


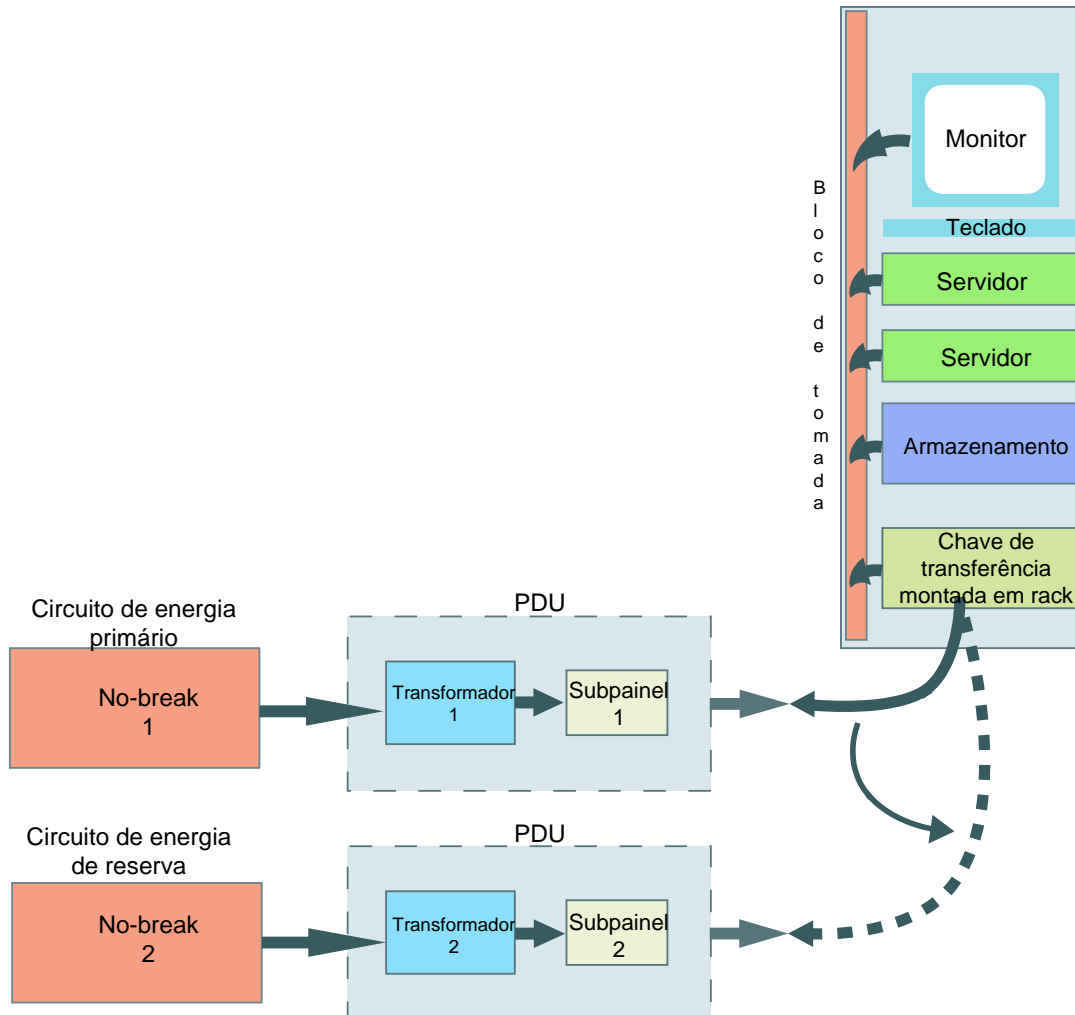
Figura 4 – Redundância na carga com STS (com transformadores redundantes)



Nas **Figuras 3 e 4** se apresentam melhoras respeito das configurações de data centers das **Figuras 1 e 2**, mas ainda não se oferece redundância total ao rack. Mesmo que se acrescentem transformador e no-break redundantes, a chave estática, o subpainel e o cabeamento associado são pontos de falha únicos.

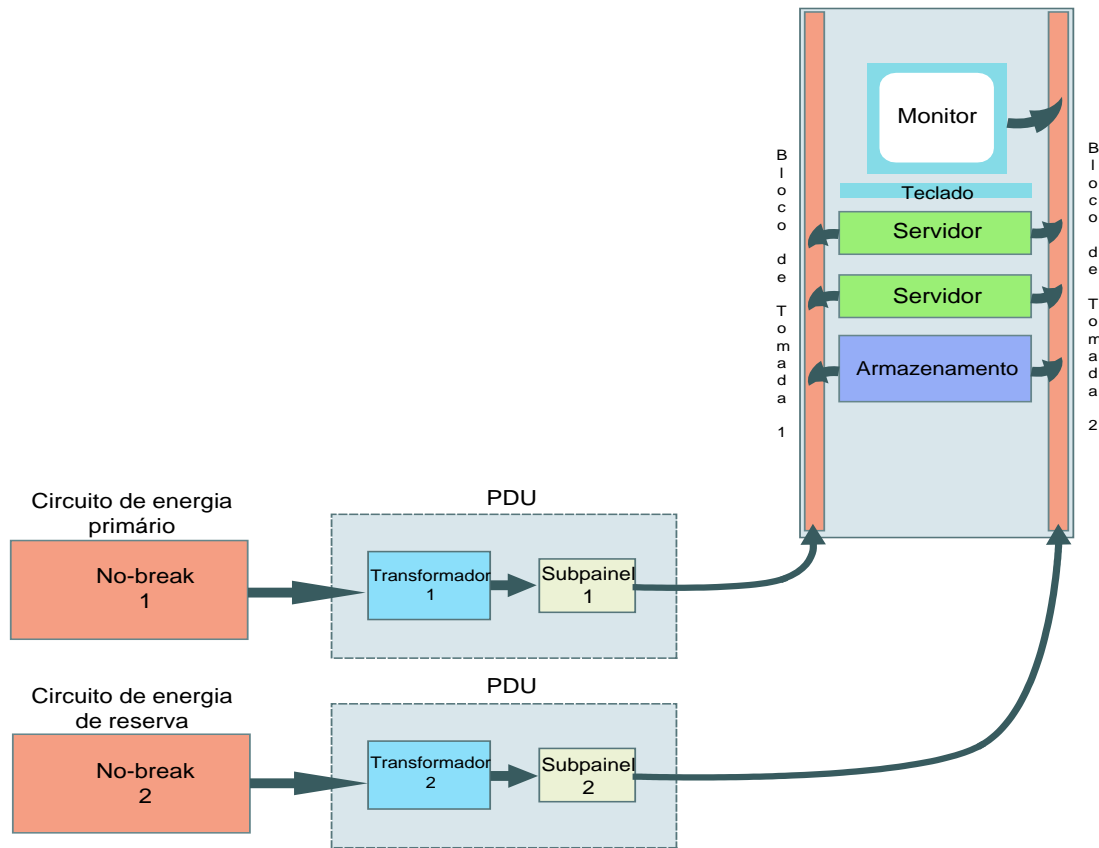
A **Figura 5** responde à limitação dos pontos de falha únicos que se encontram nas **Figuras 3 e 4** ao aproximar a redundância à carga. Nesta solução, é eliminada a STS e acrescentado um subpainel adicional, e por isto os benefícios da redundância se aproximam à carga por meio de uma Chave de transferência automática (ATS) para montagem em rack. Agora, toda tarefa de manutenção upstream da ATS do rack pode ser realizada sem eliminar a carga. Embora neste caso se apresentem menos componentes não redundantes que nos das **Figuras 3 e 4**, a ATS do rack continua sendo um ponto de falha único, do mesmo modo que a fonte de alimentação dos equipamentos.

Figura 5 – Redundância na carga com ATS em rack



A **Figura 6** mostra como conseguir redundância total na carga utilizando equipamentos de dois cabos com fontes de alimentação redundantes. Este caso apresenta duas mudanças importantes com relação ao da **Figura 5**: foi eliminada a ATS em rack e se utilizam equipamentos com dois cabos. Agora a redundância completa se aproxima diretamente à carga. Também é utilizado um bloco de tomada de corrente extra para manter a redundância. Esta solução oferece grande disponibilidade em comparação com os outros casos que apresentamos até agora; porém, também é a solução mais onerosa e só pode ser implementada com equipamentos de dois cabos que tenham sido desenhados expressamente para tal uso.

Figura 6 – Redundância na carga com equipamentos de dois cabos

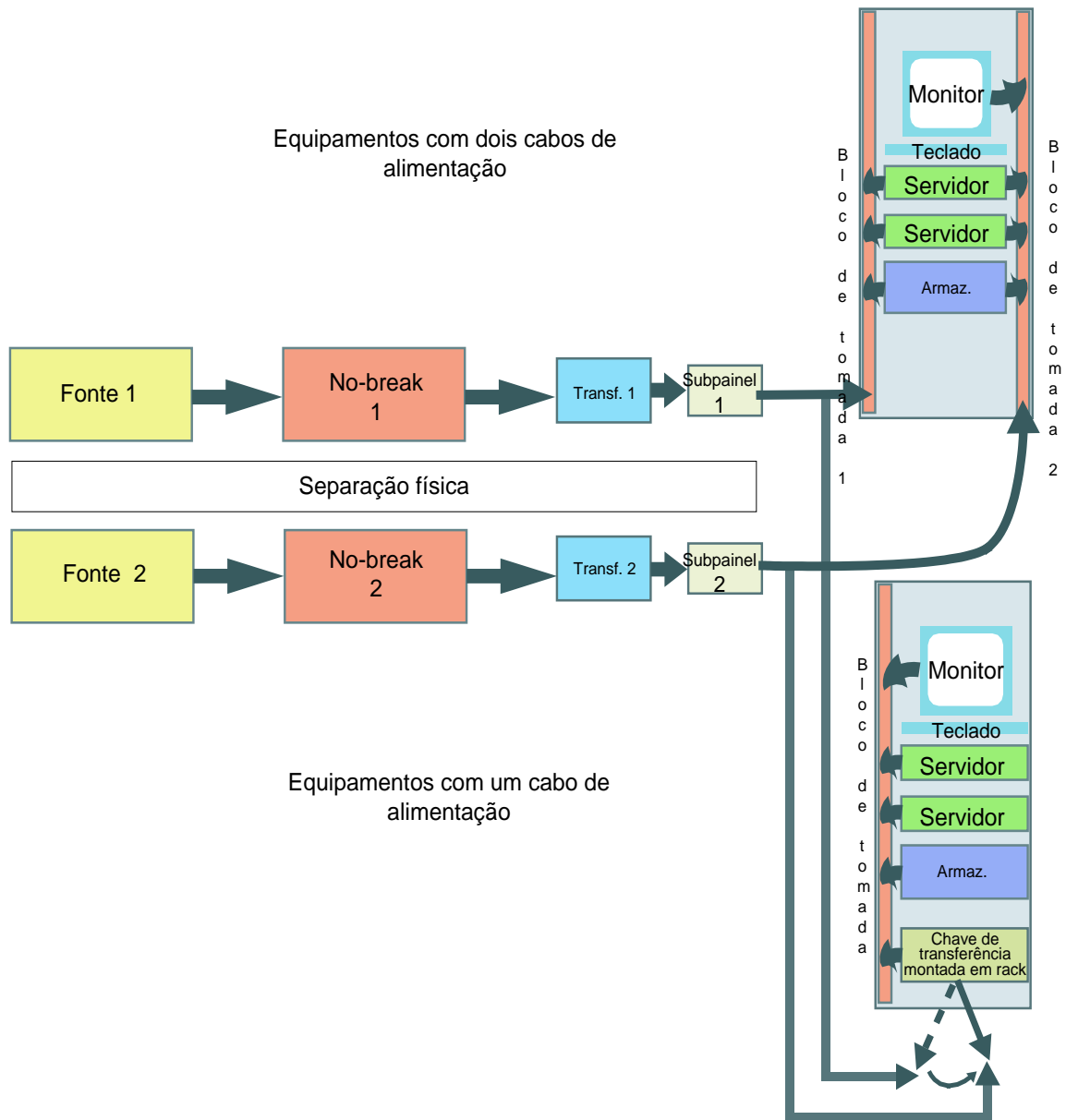


A arquitetura da **Figura 7** combina as das **Figuras 5 e 6**, e apresenta uma solução alternativa que admite cargas de cabo simples e dois cabos. Esta solução utiliza uma combinação híbrida de projetos, analisados anteriormente. A redundância total de energia para os equipamentos de TI de dois cabos é mantida. Para os equipamentos de cabo simples, a redundância se mantém até a ATS em rack, mas neste caso, as fontes de energia dos equipamentos e a chave são pontos de falha únicos.

A **Figura 7** também mostra uma separação física adicional. Esta prática, na qual vários subsistemas dentro do sistema de reserva e distribuição de energia estão separados fisicamente, costuma ser chamada de "compartimentalização". Quando a separação física é implementada de modo certo, podem ser previstos

incidentes graves, como quando um colapso mecânico em um circuito afeta o outro circuito (uma causa comum de falha).

Figura 7 – Arquitetura redundante para cargas de cabo simples e dois cabos



As arquiteturas que mostram as **Figuras 3, 4, 5 e 7** incorporam chaves de transferência. Com uma chave de transferência maior, uma falha pode provocar o colapso de muitos equipamentos; já uma falha em uma chave menor causará o colapso de só um rack. Para alguns usuários, as consequências de uma falha em qualquer um de seus racks para seus negócios são equivalentes a falhas em 50 racks; para outros usuários,

poder isolar uma falha em um só rack representa uma vantagem. Para estes últimos usuários, a ATS em rack apresenta uma vantagem adicional quanto à disponibilidade do isolamento de falhas.

Outro fator para ser levado em consideração é o tempo necessário para reparar as chaves. Uma chave de transferência pequena não é reparada mas substituída, e é possível conservá-la para ser utilizada como peça de reposição por um tempo limitado, caso seja preciso fazer uma troca. Além disso, é possível criar um bypass para a chave de maneira rápida, se for necessário. Uma chave maior deve ser reparada, e, conforme a localização do estabelecimento, podem se passar várias horas antes de o pessoal de reparo se apresentar. É necessário mais tempo para diagnosticar e reparar o sistema, e se o técnico não tiver a peça de reposição necessária, perde-se ainda mais tempo. Portanto, quando se analisam alguns destes projetos mais avançados, devem ser avaliados vários aspectos para tomar a melhor decisão. O tempo de reparo se considera no modelo estatístico da disponibilidade apresentada na seguinte seção.

Em geral, os equipamentos com um só cabo de alimentação podem representar um risco significativo quando tenta se desenvolver um ambiente crítico de negócios com alta disponibilidade. Isto vale não só para equipamentos montados em rack, mas para todos os equipamentos de missão crítica. Mesmo com a melhor construção possível, qualquer ponto de falha único vai sofrer defeito em algum momento e como resultado vai existir um tempo de inatividade. Se for necessário um verdadeiro ambiente de alta disponibilidade, os pontos de falha únicos na distribuição da energia devem ser minimizados tanto quanto possível, se não eliminados por completo.

Abordagem baseada na análise da disponibilidade

Uma análise da disponibilidade é realizada para quantificar o impacto de se utilizarem dispositivos com cabo simples face a dispositivos com dois cabos. Realizam-se as cinco análises da disponibilidade a seguir:

- Caso 1: carga com cabo simples, **Figura 2**.
- Caso 2: carga com cabo simples com Chave de transferência estática, **Figura 3** (transformador único).
- Caso 3: carga com cabo simples com Chave de transferência estática, **Figura 4** (transformadores redundantes).
- Caso 4: carga com cabo simples com ATS em rack, **Figura 5**.
- Caso 5: carga com dois cabos, **Figura 6**.

A análise combinatória linear, também conhecida como Diagrama de blocos de confiabilidade (RBD), é utilizada para ilustrar a disponibilidade da energia na tomada de saída para as cinco configurações mencionadas. Este método de modelagem de sistemas é o mais direto e funciona bem quando são estudados sistemas nos quais existem poucas transições de estado. A análise combinatória linear utiliza dados definidos relativos à confiabilidade para depois desenvolver um modelo de sistema que represente a configuração analisada. Dado que esta análise é centrada só nas diferenças entre as configurações, se supõe que tudo o que estiver upstream do sistema no-break é perfeito, inclusive o serviço de energia elétrica.

Portanto, as disponibilidades que são aqui apresentadas serão mais altas que as que se esperam em uma instalação real.

Os detalhes da análise se incluem no Apêndice.

Dados utilizados na análise

A maioria dos dados utilizados para incluir os componentes no modelo provêm de terceiros. Os dados para a ATS em rack são baseados em dados de campo do produto ATS em rack da APC, que está no mercado há aproximadamente cinco anos e tem uma base instalada significativa. Nesta análise são incluídos os seguintes componentes chave:

1. Terminais
2. Disjuntores
3. Sistemas no-break
4. Unidades de distribuição de energia (PDU)
5. Chaves de transferência estática (STS)
6. ATS em rack

A PDU se divide em três subcomponentes básicos: disjuntores, transformador redutor e terminais. O subpainel é avaliado com base em uma chave principal, um disjuntor para o circuito derivado e terminais, todos em série. A ATS em rack é utilizada apenas no quarto caso. O Apêndice inclui os valores e fontes de dados da taxa de falhas $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$ e a taxa de recuperação $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$ para cada subcomponente, em que MTTF é o tempo médio entre falhas e MTTR é o tempo médio de reparo.

As taxas de falhas e reparo utilizadas nesta análise são apresentadas no Apêndice.

Supostos utilizados na análise

Como em toda análise de disponibilidade, devem existir certos supostos para criar um modelo válido. A

Tabela 1 enumera os supostos básicos utilizados nesta análise.

Tabela 1 – Supostos para a análise

Suposto	Descrição
Taxas de falhas dos componentes	Todos os componentes da análise possuem uma taxa de falhas constante. Este é o melhor suposto, dado que os equipamentos serão utilizados só por um período igual a sua vida útil calculada. Se os produtos forem utilizados além da sua vida útil, então deveriam ser incluídos aspectos não lineares na taxa de falhas.
Equipes de reparo	Supõe-se que, para uma quantidade n de componentes em série, se dispõe de n pessoas na equipe de reparo.
Os componentes do sistema continuam funcionando	Supõe-se que todos os componentes do sistema continuam funcionando enquanto são reparados os componentes que tiveram falha.
Independência das falhas	Nestes modelos se supõe que as arquiteturas apresentadas foram construídas de acordo com as melhores práticas da indústria, o que dá como resultado uma probabilidade muito baixa de falhas por causas comuns e propagação devido ao isolamento físico e elétrico.
Taxa de falhas do cabeamento	O cabeamento, dentre os componentes dentro das arquiteturas, não foi considerado para os cálculos, dado que tem uma taxa de falhas extremamente baixa para permitir uma previsão certa e pertinência estatística. Além disso, análises prévias mostraram que uma taxa de falhas tão baixa afeta em forma mínima a disponibilidade total. Ainda não foi determinada a taxa de falhas para os terminais mais importantes.
Falha humana	O tempo de inatividade devido a falhas humanas não foi considerado neste análise. Mesmo que a falha humana fosse uma causa significativa do tempo de inatividade de um data center, a análise destes modelos é centrada na comparação das arquiteturas das infraestruturas energéticas e na identificação das fraquezas físicas destas. Além disso, não existem dados relacionados com a forma em que as falhas humanas afetam a disponibilidade.
A disponibilidade da energia é a medida chave	Esta análise fornece informação relacionada com a disponibilidade da energia. A disponibilidade dos processos de negócios normalmente será menor, já que a recuperação da energia não dá como resultado imediato a recuperação da disponibilidade dos negócios. Geralmente, os sistemas de TI têm um tempo de reinício que se acrescenta ao tempo de falta de disponibilidade; o primeiro não foi considerado nesta análise.
Não se obtêm com o isolamento das falhas	As falhas em qualquer rack são consideradas equivalentes entre si e equivalentes à falha de todos os racks ao mesmo tempo. Este suposto desestima a vantagem que oferecem os casos 4 e 5. Para alguns negócios, a falha de um único rack acarreta menores consequências que a falha de todos os racks ao mesmo tempo.

Resultados

É importante compreender que o objetivo desta análise é comparar as disponibilidades teóricas de cada caso. Já que para todos os componentes dos cinco casos existem os mesmos dados relativos às taxas de falhas, as únicas diferenças entre os diferentes casos são as quantidades, o MTTR e a localização dos componentes. Este método traz uma demonstração muito efetiva da eficácia da disponibilidade de uma arquitetura quando comparada com outra.

A disponibilidade é medida com respeito à/s tomada/s de saída que fornecem energia à carga crítica. Em todos os casos são utilizados os mesmos dados relativos à confiabilidade dos componentes. No caso 1, uma falha em qualquer dos componentes da cadeia causaria a queda da carga. Tomaremos este caso como base.

Nos casos 2 e 3, para se produzir a queda da carga, teria que falhar simultaneamente um componente qualquer de cada circuito redundante. Porém, a falha de qualquer componente único downstream da STS, ou inclusive da STS, também causaria a queda da carga. Neste caso, é notável como este resultado aumenta em pouco a disponibilidade do sistema em função da instalação da STS. O motivo é que a STS não oferece um nível de confiabilidade significativamente maior que o no-break upstream, e a STS continua sendo um ponto de falha único. Salienta-se que no caso 2, o MTTR do transformador minimiza os benefícios da STS.

No caso 4, para se produzir a queda da carga, teria que falhar simultaneamente um componente qualquer de cada circuito redundante. Apesar de que a ATS em rack é um ponto de falha único, seu MTTR é breve, dado que pode ser substituída rapidamente se houver peça de reposição disponível. O achado chave neste caso é que, embora a ATS em rack não seja necessariamente mais confiável que a STS maior, ao ter um MTTR muito mais breve, apresenta uma grande vantagem quanto à disponibilidade.

No caso 5, para se produzir a queda de carga, teria que falhar simultaneamente um componente qualquer em cada circuito redundante. Na **Tabela 2** apresenta-se uma resenha dos resultados dos cinco cálculos de disponibilidade.

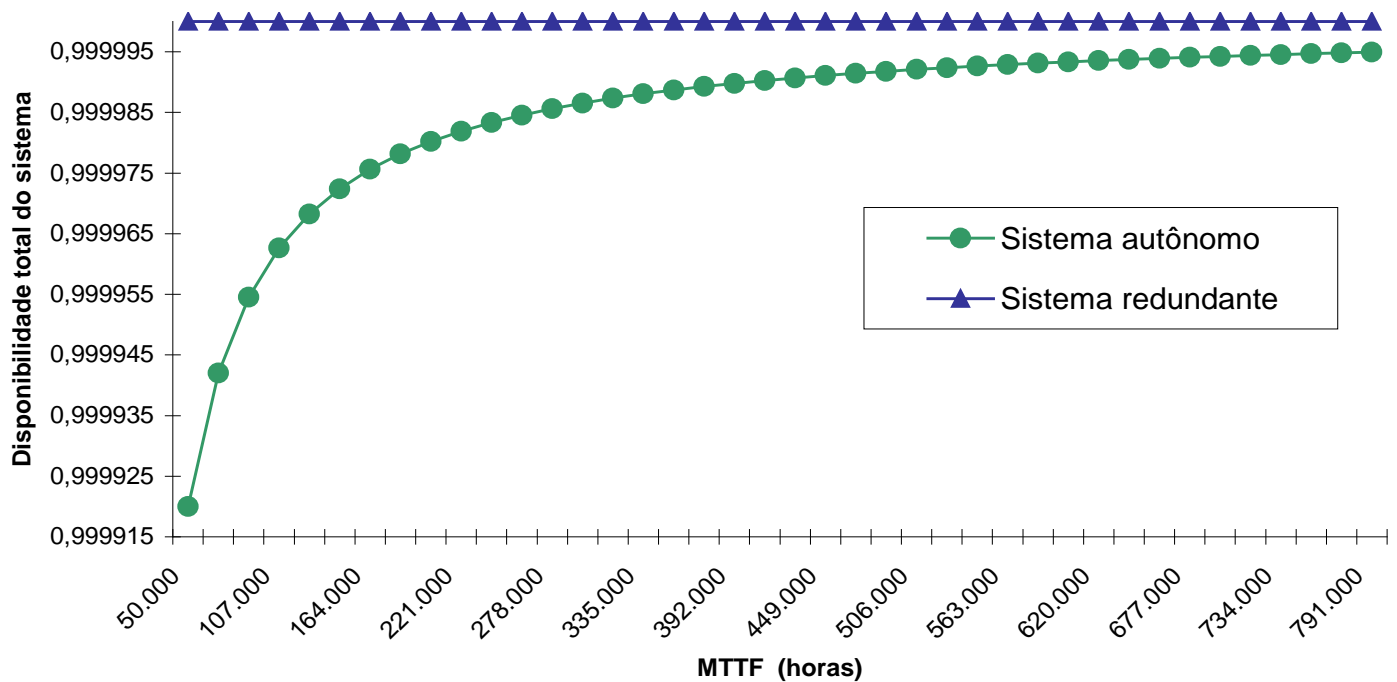
Tabela 2 – Resumo dos resultados dos cálculos de disponibilidade

Caso	Configuração	Disponib.	Quantidade de "noves"
Caso 1:	Carga com cabo simples	99,985%	3,8
Caso 2:	Carga com cabo simples com STS (transformador único)	99,98596%	3,85
Caso 3:	Carga com cabo simples com STS (transformadores redundantes)	99,99715%	4,5
Caso 4:	Carga com cabo simples com ATS em rack	99,999931%	6,2
Caso 5:	Carga com dois cabos	99,9999977%	7,6

Esta análise ilustra o quanto podem ser significativos os equipamentos de dois cabos para atingir um alto nível de disponibilidade em uma arquitetura elétrica de alimentação dual. Com equipamentos de cabo simples não se obtêm todos os benefícios de um projeto tão elaborado, mas podem se obter benefícios muito similares com uma ATS em rack.

A partir dos resultados que foram apresentados anteriormente, fica claro que aumentar a redundância na carga aumenta a disponibilidade. A **Figura 8** mostra que mesmo que a confiabilidade (MTTF) de um produto seja multiplicada por dez, continuaria sem se igualar a disponibilidade obtida quando é utilizado um set redundante com um nível de confiabilidade menor. O sistema redundante fornece uma disponibilidade próxima a 100%, ou uma grande quantidade de "noves".

Figura 8 – Disponibilidade vs. MTTF



Conclusões

Quando se implementa uma arquitetura de alta disponibilidade, a distribuição de energia no rack deve considerar-se cuidadosamente. Os modelos típicos de distribuição de energia descritos neste White Paper geram tempos de inatividade que variam em um fator de 10.000.

Esta análise mostra muito claramente a importância de utilizar equipamentos de dois cabos em um data center crítico. A análise que é apresentada neste White Paper sugere que uma arquitetura completa de

circuito duplo pode fornecer um tempo de inatividade até 10.000 vezes menor que um projeto de circuito simples.

A prática comum de utilizar chaves de transferência para incrementar a disponibilidade das cargas com cabo simples fornece resultados extremamente variáveis, conforme seja implementado. Em alguns casos, a análise sugere que não se obtém praticamente nenhuma vantagem do uso de uma STS grande. Em oposição, quando a chave de transferência se aproxima do rack, o tempo de inatividade do sistema causado pelo sistema de distribuição de energia diminui em um fator de 250.

Além disso, a chave de transferência para montagem em rack fornece como vantagem adicional a localização da falha, já que uma falha nele abrange um único rack. Ainda mais, esta chave pode ser implementada quando e como for preciso em um ambiente de circuito duplo.

Os dados fornecidos sugerem que a prática comum de utilizar sistemas com STS grandes para cargas com cabo simples deveria ser reavaliada, e que as chaves de transferência montadas em rack oferecem vantagens significativas a custos similares.

Em geral, a análise sugere como princípio geral aproximar a redundância das cargas para melhorar a disponibilidade.

Uma análise cuidadosa sempre deveria ser um requisito essencial antes de investir em qualquer sistema de alta disponibilidade. A quantia que, para cada usuário, se justifica gastar para reforçar a infraestrutura elétrica determinará a solução que deva ser selecionada. O usuário deve compreender claramente seus processos de negócios para poder apurar o custo dos tempos de inatividade. Afinal, este custo determinará o investimento em soluções de disponibilidade.

Acerca do autor

Victor Avelar é Especialista em Disponibilidade na APC. É responsável pelo assessoramento e análise sobre a disponibilidade para as arquiteturas elétricas e o projeto dos data centers dos clientes. Victor recebeu o título de *Bachelor* em Engenharia Mecânica do Rensselaer Polytechnic Institute em 1995 e é membro da ASHRAE e da American Society for Quality.

Apêndice

Componentes e valores

Componente	Taxa de falhas	Taxa de reparação	Fonte de dados	Comentários
No-break 675 kW/ 750 kVA	4,0000E-06	0.125	A taxa de falhas foi tomada da <i>Power Quality Magazine</i> ; a taxa de reparação é baseada no suposto de que são necessárias 4 horas para que o pessoal técnico chegue ao estabelecimento e 4 horas para reparar o sistema.	É utilizada para fornecer a PDU com uma tensão constante de 480 VCA
Chave de transferência estática (STS)	4,1600E-06	0.1667	Gordon Associates - Raleigh, NC	Inclui controles
Transformador redutor	7,0776E-07	0.00641	O tempo médio entre falhas (MTBF) foi tomado do Gold Book do IEEE, standard 493-1997, Página 40; O MTTR é a média indicada em dados do Marcus Transformer.	É utilizado para reduzir a tensão de entrada de 480 VCA a tensões de saída de 208 VCA, que são as requeridas para cargas de 120 VCA.
Disjuntor	3,9954E-07	0.45455	Gold Book do IEEE, standard 493-1997, Página 40	É utilizado para isolar componentes do fornecimento elétrico para manutenção ou contenção de falhas.
6 terminais	8,6988E-008	0.26316	6 x valor IEEE Calculado a partir do valor do Gold Book de IEEE, standard 493-1997, Página 41	Upstream do transformador, há um terminal para cada condutor. Como há 2 sets de terminais entre os componentes, se utiliza um total de seis terminais.
8 terminais	1,1598E-007	0.26316	8 x valor IEEE Calculado a partir do valor do Gold Book de IEEE, standard 493-1997, Página 41	Downstream do transformador, há um terminal para cada condutor mais o neutro. Como há 2 sets de terminais entre os componentes, se utiliza um total de oito terminais.

ATS em rack	2,0E-06	3	Dados de campo da APC sobre chaves redundantes	Calcula-se que o MTTF da ATS em rack da APC é de um milhão de horas. Foi utilizado um valor baixo de 500.000 horas.
-------------	---------	---	--	---

Disponibilidade de uma carga com cabo simples [Caso 1]

A disponibilidade para uma carga com cabo simples, como a da **Figura 2**, é calculada com base no seguinte diagrama de blocos de confiabilidade. A **Figura 9** representa o nível superior do diagrama, que calcula a disponibilidade em estado estável baseada nos componentes série. Este diagrama incorpora blocos "expansíveis" para os "componentes do transformador" e os "componentes do subpainel". O fato de haver blocos expansíveis significa que existe um diagrama de blocos de confiabilidade de nível mais baixo que define seus subcomponentes. Desenhar o diagrama desta maneira facilita os cálculos da disponibilidade. O subpainel é utilizado para distribuir a energia diretamente entre os equipamentos de missão crítica. Os conteúdos destes blocos são apresentados nas **Figuras 10 e 11**.

Figura 9 – Carga com cabo simples

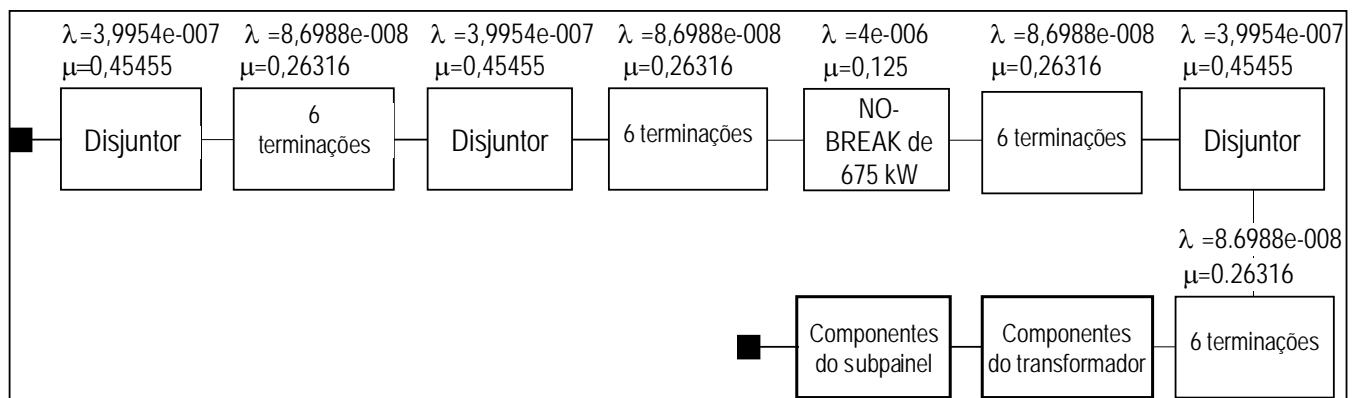


Figura 10 – Componentes do transformador

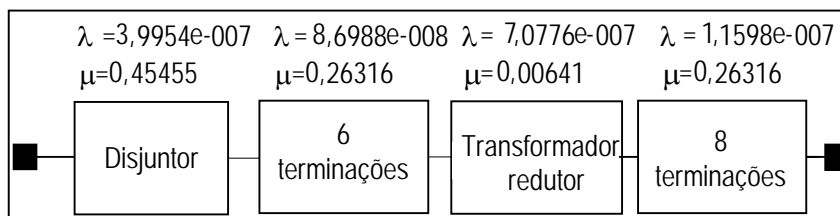
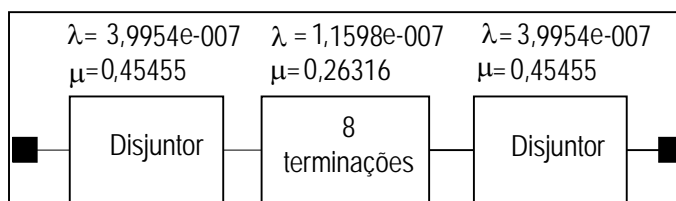


Figura 11 – Componentes do subpainel



Com base no diagrama apresentado, a seguir é mostrada a disponibilidade do sistema de cabo simples.

Disponibilidade de uma carga com cabo simples [Caso 1]

Modelo-Nome	Disponibilidade	Falta de disponibilidade	MTTR (horas)	MTTF (horas)	Tempo de inatividade anual (horas)
Carga com cabo simples	99,98498%	1,5021E-04	19,3	128.665	1,3158
Sistema no-break	99,99640%	3,5958E-05	6,5	180.291	0,31499
Componentes do transformador	99,98879%	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Componentes do subpainel	99,99978%	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926

Dado que a análise é realizada utilizando dados com cinco dígitos significativos, a falta de disponibilidade é outra maneira de apresentar os resultados. A falta de disponibilidade é calculada simplesmente como (1 – disponibilidade).

Disponibilidade de uma carga com cabo simples com Chave de transferência estática (transformador único) [Caso 2]

O método de distribuição da **Figura 3** utiliza uma STS e acrescenta redundância a todos os componentes upstream, excetuando o transformador, que é localizado downstream. A disponibilidade para este caso é calculada com base em 7 cadeias de diagramas de blocos de confiabilidade fragmentados por razões de clareza. A **Figura 12** representa o nível superior do diagrama. O bloco do "sistema no-break" é um bloco de

tipo "1 de 2", quer dizer que todos os componentes dentro desse bloco são redundantes. A **Figura 13** mostra os conteúdos do bloco do "sistema no-break".

Figura 12 – Carga com cabo simples com STS

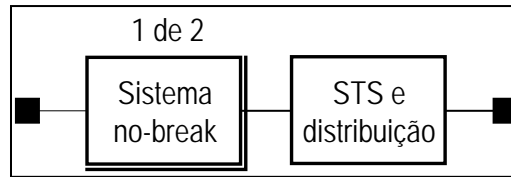
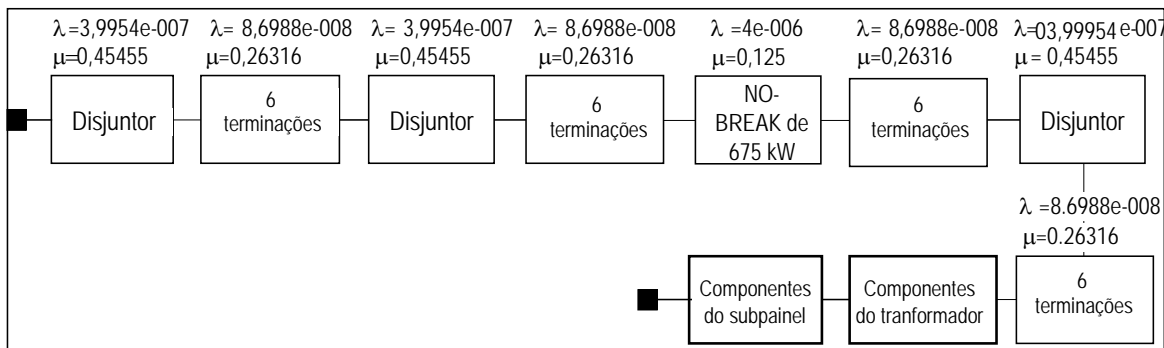


Figura 13 – Sistema no-break



Todos os componentes upstream da STS são redundantes; no entanto, todos os componentes dentro do bloco de "STS e distribuição", que são apresentados na **Figura 12**, constituem um ponto de falha único. O bloco de "STS e distribuição" contém o sistema de STS, os componentes do transformador os componentes do subpainel, como se apresenta na **Figura 14**. O sistema de STS permite o uso dos componentes redundantes upstream. Este sistema incorpora disjuntores, terminais e, o mais importante, a Chave de transferência estática. O diagrama de blocos de confiabilidade para o sistema STS é apresentado na **Figura 15**.

Figura 14 – STS e distribuição

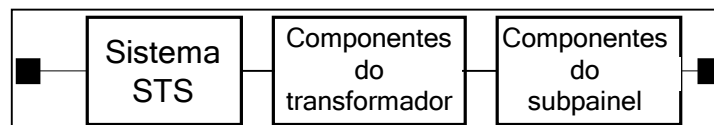
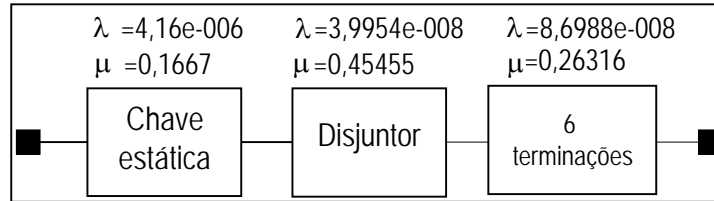


Figura 15 – Sistema STS



Os conteúdos do bloco de "componentes do transformador" e dos "componentes do subpainel" da **Figura 14** são ainda mais destacados nas **Figuras 16 e 17**.

Figura 16 – Componentes do transformador

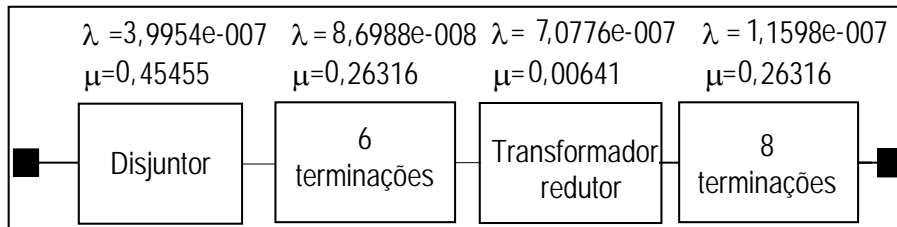
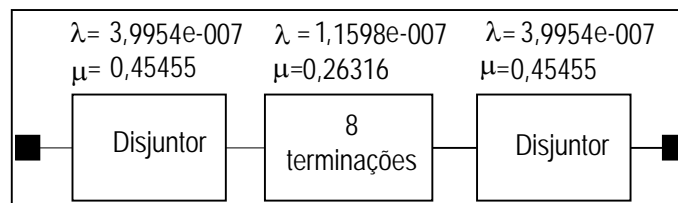


Figura 17 – Componentes do subpainel



Com base nos diagramas apresentados, mostra-se a seguir a disponibilidade do sistema com cabo simples com STS e transformador único.

Disponibilidade da carga com cabo simples com STS (transformador único) [Caso 2]

Modelo-Nome	Disponibilidade	Falta de disponibilidade	MTTR (horas)	MTTF (horas)	Tempo de inatividade anual (horas)
Carga com cabo simples com STS (1 transformador)	99,98596%	1,4041E-04	20,4	145,513	1.23002
Sistema no-break	99,99999987%	1,2930E-09	6,5	5,025,125,628	0.00001
No-break único	99,99640%	3,5958E-05	6,5	180,291	0.31499
STS e distribuição	99,98596%	1,4041E-04	20,4	145,518	1.23001

Sistema STS	99,99738%	2,6164E-05	5,6	215,214	0.22920
Componentes do transformador	99,98879%	1,1205E-04	85,53	763,201	0.98158
Componentes do subpainel	99,99978%	2,1987E-06	2,4	1,092,825	0.01926

Disponibilidade de uma carga com cabo simples com Chave de transferência estática (transformadores redundantes) [Caso 3]

O método de distribuição da **Figura 4** utiliza uma STS e acrescenta redundância a todos os componentes upstream, incluindo o transformador. A disponibilidade neste caso é calculada com base em 7 cadeias de diagramas de blocos de confiabilidade, de maneira análoga à análise anterior. A **Figura 18** representa o nível superior do diagrama. O bloco do "sistema no-break e transformador" é um bloco de tipo "1 de 2", quer dizer que todos os componentes dentro desse bloco são redundantes. A **Figura 19** mostra os conteúdos do bloco do "sistema no-break e transformador". O bloco dos "componentes do transformador" está formado pelas mesmas partes que o da **Figura 16**. Até aqui, todos os componentes são redundantes; porém, todos os componentes dentro do bloco de "STS e distribuição", apresentados na **Figura 18**, constituem um ponto de falha único.

Figura 18 – Carga com cabo simples com STS

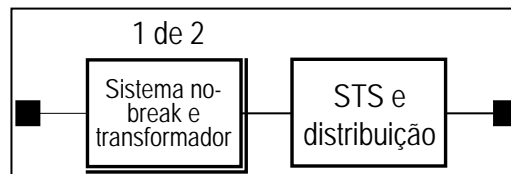
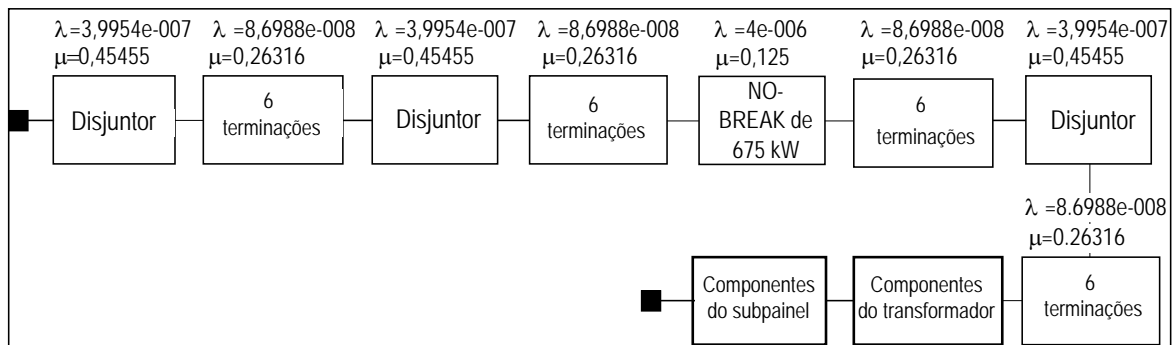


Figura 19 – Sistema no-break e transformador



Neste caso, o bloco de "STS e distribuição", apresentados na **Figura 20**, contém só o sistema STS e os componentes do subpainel, porque o transformador se desloca upstream como componente redundante. O "sistema STS" neste caso é idêntico ao da **Figura 16**, exceto por ele ter 8 terminais em vez de 6, como se ilustra na **Figura 21**. Os conteúdos do bloco de "componentes do subpainel" são idênticos aos da **Figura 17**.

Figura 20 – STS e distribuição

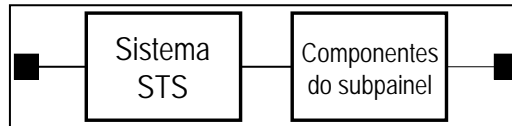
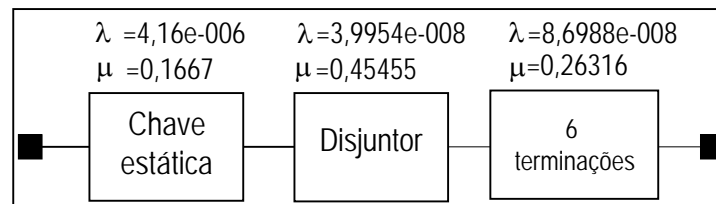


Figura 21 – Sistema STS



Com base nos diagramas apresentados, mostra-se a seguir a disponibilidade do sistema com cabo simples com STS e transformadores redundantes.

Disponibilidade da carga com cabo simples com STS (transformadores redundantes) [Caso 3]

Modelo-Nome	Disponibilidade	Falta de disponibilidade	MTTR (horas)	MTTF (horas)	Tempo de inatividade anual (horas)
Carga com cabo simples com STS (2 transformadores)	99,99715%	2,8495E-05	5,1	178.839	0,24961
Sistema no-break e transformador	99,9999978%	2,1906E-08	21,6	985.221.675	0,00019
Sistema no-break	99,99640%	3,5958E-05	6,5	180.291	0,31499
Componentes do transformador	99,98879%	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
STS e distribuição	99,99715%	2,8473E-05	5,1	178.872	0,24942
Sistema STS	99,99737%	2,6274E-05	5,6	213.880	0,23016
Componentes do subpainel	99,99978%	2,19867E-06	2,4	1.092.825	0,01926

Disponibilidade de uma carga com cabo simples com ATS em rack [Caso 4]

A análise para uma carga com cabo simples com uma ATS em rack, como se apresenta na **Figura 5**, é calculada com base no diagrama de blocos de confiabilidade da **Figura 22**, que representa o nível superior do diagrama. Este modelo fornece agora redundância ao rack; porém, a ATS em rack se torna o ponto de falha único. A **Figura 23** mostra os componentes do bloco do "sistema no-break e distribuição". Os conteúdos dos blocos de "componentes do transformador" e "componentes do subpainel" são idênticos aos das **Figuras 16 e 17**, respectivamente.

Figura 22 – Carga com cabo simples com ATS em rack

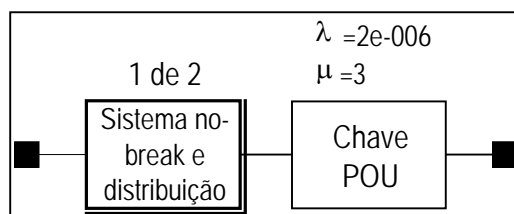
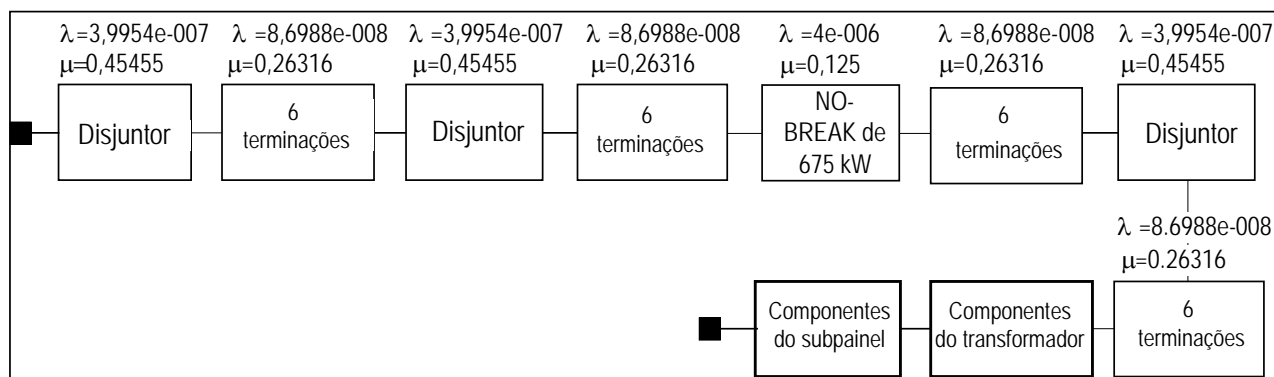


Figura 23 – Sistema no-break e distribuição



Com base nos diagramas apresentados, mostra-se a seguir a disponibilidade do sistema com cabo simples com ATS em rack.

Disponibilidade de uma carga com cabo simples com ATS em rack [Caso 4]

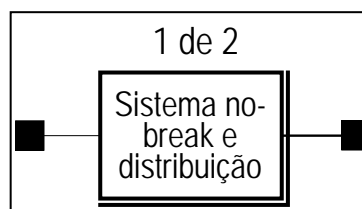
Modelo-Nome	Disponibilidade	Falta de disponibilidade	MTTR (horas)	MTTF (horas)	Tempo de inatividade anual (horas)
Carga com cabo simples com ATS em rack	99,999931%	3,558950E-07	0,4	499.705	0,00604
Sistema no-break e distribuição	99,999998%	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,00018
Componentes do transformador	99,98879%	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Componentes do subpainel	99,99978%	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926
ATS em rack	99,999933%	3,3333E-07	0,3	500.000	0,00584

Neste caso, apenas acrescentando outra unidade PDU, aumentou a disponibilidade de maneira drástica. No entanto, a ATS em rack é o ponto de falha único no sistema, o que limita a disponibilidade total a seis "noves". Por causa disso sempre deve se escolher uma ATS em rack com base na sua confiabilidade, e sempre devem existir peças de reposição no estabelecimento para minimizar o MTTR.

Disponibilidade de uma carga com dois cabos [Caso 5]

A análise para uma carga com dois cabos, como na **Figura 6**, é calculada com base no diagrama de blocos de confiabilidade da **Figura 24**, que também neste caso representa o nível superior. Como no sistema com ATS em rack, este diagrama calcula a disponibilidade em estado estável com base nas taxas totais de falhas e reparo do no-break e da PDU; porém, não inclui a ATS em rack porque a carga é de dois cabos e pode aproveitar ao máximo os circuitos redundantes. Só um dos dois circuitos deve estar em funcionamento para manter as cargas críticas. Não há pontos de falha únicos neste sistema. Na verdade, inclusive as fontes de energia da carga crítica são redundantes.

Figura 24 – Carga com dois cabos



Os diagramas de blocos de confiabilidade de nível mais baixo que compõem o bloco de "sistema no-break e distribuição" são idênticos aos das **Figuras 9 e 11**. Com base nesses blocos, apresenta-se a seguir a disponibilidade do sistema com dois cabos.

Disponibilidade de uma carga com dois cabos [Caso 5]

Modelo-Nome	Disponibilidade	Falta de disponibilidade	MTTR (horas)	MTTF (horas)	Tempo de inatividade anual (horas)
Carga com dois cabos	99,9999977%	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,0001976
Sistema no-break e distribuição	99,9999977%	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,0001976
Componentes do transformador	99,98879%	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Componentes do subpainel	99,99978%	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926

Neste último caso, a disponibilidade do "sistema no-break e distribuição" é idêntica à do caso anterior, mas a disponibilidade total aumentou para sete "noves". A diferença mais importante é que, quando são utilizados equipamentos de dois cabos, já não é necessária a ATS em rack. Como se apresenta no último sistema, a ATS em rack é um ponto de falha único e limita a disponibilidade a seis "noves".