



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1011216-2 B1

(22) Data do Depósito: 17/05/2010

(45) Data de Concessão: 09/03/2021



* B R P I 1 0 1 1 2 1 6 B 1 *

(54) Título: SIMULADOR DE CENTRO DE DADOS

(51) Int.Cl.: G06F 17/50.

(30) Prioridade Unionista: 17/07/2009 US 12/505,464; 18/05/2009 GB 0908514.3.

(73) Titular(es): ROMONET LIMITED.

(72) Inventor(es): LIAM NEWCOMBE; ZAHL LIMBUWALA.

(86) Pedido PCT: PCT GB2010000994 de 17/05/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/133832 de 25/11/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 17/11/2011

(57) Resumo: SIMULADOR DE CENTRO DE DADOS A invenção proporciona um sistema de simulação de computador para simulação de um centro de dados O sistema de simulação usa uma representação lógica do centro de dados para realizar a simulação. Essa representação lógica inclui uma pluralidade de nós representando dispositivos no centro de dados. Cada nó tem uma entrada para carga aplica da e saídas para energia elétrica extraída e perdas na forma de saída de calor. Cada nó também tem uma função para calcular as saídas das entradas. Um primeiro conjunto de conexões entre os nós representa energia elétrica extraída por um dispositivo no centro de dados de outro dispositivo no centro de dados. O simulador pode ser posto em funcionamento para uma série de diferentes condições operacionais a fim de mapear a eficiência do centro de dados, por exemplo, ou avaliar o impacto de diferentes dispositivos de TI no centro de dados.

SIMULADOR DE CENTRO DE DADOSCampo da Invenção

[0001] A presente invenção está relacionada com métodos e sistemas para simular centros de dados. Concretizações da invenção estão mais especificamente relacionadas com simulações que podem determinar e/ou prever parâmetros operacionais de elementos componentes de centros de dados, bem como parâmetros operacionais globais para um centro de dados como um todo. Parâmetros operacionais podem incluir, por exemplo, consumo de energia, eficiência (por exemplo, DCIE) e/ou custos de operação.

Antecedentes

[0002] Muitos operadores instalam a medição detalhada em seu centro de dados a fim de tentar e compreender energia e custo. Isso é caro e falha em distribuir a compreensão de por que o centro de dados atua como ele o faz.

[0003] Ferramentas e “calculadoras” avaliam apenas pequenas partes do centro de dados, componentes únicos ou pequenos grupos funcionais. Essas ferramentas são ineficazes, visto que falham em reconhecer que a instalação mecânica e elétrica do centro de dados, equipamento de TI, sistemas de gerenciamento e cargas de trabalho de TI aplicadas via *software* representam um sistema interdependente. As ferramentas existentes falham em abranger o domínio total da instalação Mecânica, da instalação Elétrica, carga de Usuário e *software* e as variáveis envolvidas em cada uma dessas áreas.

[0004] Essas variáveis, frequentemente, exibem correlação, o que pode comprometer, substancialmente, a saída de ferramentas com esse domínio funcional restringido.

Por exemplo, as cargas de trabalho do usuário tendem a ser menores em um centro de dados de uma companhia, quando é mais frio no lado de fora à noite, significando que um sistema resfriador economizado provavelmente receberá menos carga no ponto onde ele é mais eficiente e mais carga no ponto onde é menos eficiente. Uma análise de componente do tipo grau dia é severamente comprometida, nesse caso.

[0005] Essa faixa de variáveis internas e externas que impactam o sistema rapidamente excede o escopo da análise manual, visto que as interações complexas e múltiplos fatores em cada etapa acionam erros de análise.

[0006] Tem sido identificado por muitas partes, incluindo o *Data Centre Specialist Group* (DCSG) de BCS que uma maior obstrução para menores opções de energia dentro do mercado de centro de dados é a falta de técnicas efetivas de avaliação de uso de energia e a capacidade de relacionar esses tais impactos financeiros em um modo efetivo e confiável. Este é composto por uma falta de confiança em reivindicações ambientais do vendedor que são amplamente assumidas serem “esverdeamento” na ausência de qualquer mecanismo independente de arbítrio ou avaliação.

Sumário da Invenção

[0007] Uma proposta geral de concretizações da presente invenção é proporcionar um simulador de centro de dados que torna possível levar em conta a interdependência de uma faixa de variáveis internas e externas que impactam o sistema global e as partes componentes do mesmo; a implementação de uma estrutura de simulação e dependências proporciona uma estrutura para tornar esse nível de análise razoável e prático.

[0008] As variáveis dependentes do tempo incluídas na estrutura de simulação podem incluir, por exemplo:

Carga de trabalho do usuário aplicada

Número de dispositivos instalados

Capacidade do dispositivo e alocação de capacidade

Custo de energia

Condições ambientais externas

Nível de alocação de capacidade (utilização)

Cargas elétricas da instalação

Custo de outros elementos consumíveis (por exemplo, custo da água, custo do espaço do chão, etc.).

[0009] Variáveis não dependentes do tempo podem incluir, por exemplo:

Características da eficiência do dispositivo

Outras regras ou parâmetros que definem relações entre consumo (por exemplo, de energia, água, etc.) e fornecimento/geração (por exemplo, de energia, calor, resfriamento, etc.).

[0010] A abordagem adotada por algumas concretizações da presente invenção é criar um ambiente de simulação em que todos os componentes principais do centro de dados são simulados, da carga de trabalho do usuário no *software* através do equipamento de TI, sistemas mecânicos e elétricos através do uso de energia da utilidade. Esse ambiente permite que a faixa de variáveis externas que influenciam a eficiência seja aplicada, coerentemente, e no contexto de sua correlação. O simulador, uma vez preparado para representar uma instalação pode competir com dados de medição muito esparsos (e, em alguns casos, até mesmo não), ao mesmo tempo em que ainda proporciona relato e faturamento precisos. Através de modelagem do centro de dados em um nível

de sistemas torna-se possível simular e compreender o impacto que uma mudança em uma variável em uma parte do sistema (por exemplo, a adição de mais fornecimento de carga de TI de uma unidade de resfriamento adicional, etc.) tem sobre todos os outros componentes do sistema. Isso, por sua vez, permite alocação precisa de todos os custos relacionados com o sistema de volta aos consumidores individuais do recurso de TI no centro de dados.

[0011] Essa capacidade de refletir diferenças verdadeiras no custo de volta para cada consumidor de serviço está se tornando cada vez mais importante em relação às novas tendências no desenvolvimento do centro de dados, tais como centros de dados modulares (por exemplo, centros de dados 'contentorizados') e/ou centros de dados com múltipla resiliência ou opções de níveis de serviço para usuários. Os cálculos de custo de energia e outras relações calculadas, proporcionados por algumas concretizações da invenção, podem informar alocação de custo descendente até um nível específico de carga de TI/ componente/ dispositivo, podem, assim, ser usados para determinar diferenciais de custo detalhados e justificáveis entre diferentes consumidores, serviços ou aplicações, por exemplo.

[0012] Em algumas concretizações, a saída primária da ferramenta é uma análise da energia em uso de cada cenário, isso é suportado pela saída secundária, uma análise de pós simulação do custo básico de cada cenário para proporcionar a base para a justificação de caso de negócios de um cenário de energia inferior. Alternativamente, a análise de custo pode ser realizada dentro da simulação principal em lugar de como uma análise de pós simulação.

[0013] Em um aspecto, a invenção está relacionada com uma simulação de todo o sistema de centros de dados compreendendo equipamento mecânico, elétrico e de TI e suas interações umas com as outras e variáveis externas, tais como a temperatura. Em contraste, abordagens existentes estão restritas à parte do sistema ou efeitos de dispositivos ou fenômenos específicos e, como tal, não proporcionam respostas úteis visto que são incapazes de colocar seus resultados no contexto completo de todas as variáveis, impactando seu comportamento ou que são impactados por seu comportamento.

[0014] A simulação de níveis de sistemas pode incluir, mas não está assim limitada:

- Custo de energia variando com o tempo
- Intensidade de carbono variando com o tempo.
- Custo do carbono variando com o tempo
- Temperatura do clima externa e umidade variando com o tempo
- Cargas de trabalho aplicadas variando com o tempo
- Energia do dispositivo de TI extraída variando com a carga de trabalho, configuração e estado.
- Cargas elétricas aplicadas variando com o tempo
- Tipo, quantidade, configuração e especificação de dispositivos variando com o tempo.

[0015] A abordagem de simulação permite a determinação de dados chave referentes a uma instalação que seriam extremamente conflituosas ou impossíveis de medir para um centro de dados físico de trabalho. Por exemplo, a energia de “carga fixa” ou “carga crônica” extraída pelo centro de dados em qualquer ponto dentro do tempo de simulação, segundo qualquer combinação de variáveis tais

como condição climática externa, fornecimento operacional e modular interno pode ser determinado. Isso não poderia ser medido em uma instalação operacional, visto que requereria que toda a carga de TI fosse regularmente desligada, a fim de rastrear esse valor. Isso permite ao simulador formar a base para alocação efetiva por dispositivo, serviço ou aplicação de custo e energia dentro do centro de dados, que não é possível usando métodos tradicionais de medição e relatório.

[0016] Em um aspecto, a invenção permite simulação de níveis de sistemas capaz de representar, manipular e retornar saída para sistemas com enlaces de realimentação. Os enlaces de realimentação podem ocorrer em um sistema de centro de dados, por exemplo, uma unidade de condicionamento de ar pode extrair energia de cabeamento de energia e o equipamento de distribuição que reside dentro da área da unidade de condicionamento de ar se resfria, criando um enlace de realimentação.

[0017] Em um aspecto, a invenção propõe uma representação lógica do centro de dados, permitindo a entrada de dados simplificada, a fim de permitir que o sistema seja modelado de forma útil em um nível aceitável de coleta e entrada de dados. Essa abordagem pode incluir, mas não está assim limitada:

a. Um esboço ou “construtor” para o centro de dados contendo nós para fins gerais que são povoados com dispositivos de vários tipos.

b. O esboço pode consistir de um número arbitrário de nós, com um conjunto arbitrário de conexões para representar qualquer centro de dados ou conjunto de centros de dados.

c. Nós de dispositivos que representam múltiplos dispositivos do mesmo tipo e função, operando como um grupo. Esses grupos podem ser usados para representar a plena capacidade nominal e/ou a resiliência através do uso de múltiplos dispositivos.

d. Os nós de dispositivos podem ter uma capacidade identificada representando o desenho ou a capacidade pretendida do grupo de dispositivos dentro do nó.

e. Os nós são interconectados para descrever as dependências dentro do centro de dados. As interconexões representam, tipicamente, um fluxo de energia, como energia elétrica extraída ou carga térmica aplicada ou uma carga aplicada, tal como uma carga de trabalho de TI. As interconexões, adicionalmente, podem representar outros fluxos e cargas de, por exemplo, taxa/ volume de fluxo de ar, taxa/ volume de fluxo de água, cargas de umidade ou desumidificação, etc.

f. Outros nós para fins especiais podem ser incluídos para auxiliar a simulação, tal como contendo dados ou auxiliando na obtenção de soluções para enlaces onde iteração é requerida.

g. Outros nós de fins específicos podem ser incluídos para realizar funções lógicas, como a divisão ou agregação de cursos de carga ou implementação de lógica de controle para representar Sistemas elétricos, mecânicos ou de controle dentro do centro de dados que impactam ou governam o funcionamento dos outros nós.

h. Os nós podem ser adicionados para representar uso de energia por Sistemas não TI que formam parte das despesas gerais do centro de dados, como iluminação. Essas despesas gerais e custos podem ser alocados para as cargas de TI.

[0018] Em um aspecto, a invenção propõe um método de alocação de custo de capital e energia do centro de dados (e, portanto, custo de energia) para dispositivo, tais como dispositivos de TI ou cargas aplicadas, tais como cargas elétricas ou cargas de trabalho de aplicação que, efetivamente, reconhecem partes fixa e variáveis do custo total e uso de energia. Os custos do centro de dados, tais como custos de manutenção, etc., também podem ser alocados dessa maneira. Com o uso dos conceitos de simulação aqui propostas, concretizações desse método são capazes de representar, efetivamente, capacidade alocada e utilizada em cada dispositivo no sistema, incluindo despesas gerais e outros custos relevantes, induzidos pela interação de outros componentes. Concretizações deste método também são capazes de representar, efetivamente, componentes de custos recorrentes e não recorrentes de cada dispositivo na infraestrutura incluindo custo de capital, opção de compra de locação, custos de manutenção, etc. Os custos de outros parâmetros expressos pelo usuário, como espaço dentro do centro de dados ocupado pelo equipamento também podem ser levados em conta, se desejado.

[0019] Em um aspecto, a invenção propõe um método de alocação de espaço, custo e energia que fatora o nível de utilização dessas variáveis para permitir alocação, levando em conta a utilização. Isso pode ser, por exemplo, através de:

a. Alocação direta da fração de capacidade ocupada ou utilizada em cada ponto no tempo simulado, permitindo a capacidade não alocada, custo e energia dentro dos resultados.

b. Alocação incluindo a fração de capacidade instantânea ocupada ou utilizada em cada ponto no tempo simulado, assegurando que todos os custos são alocados para dispositivos ou cargas.

c. Alocação incluindo a fração de capacidade de ocupação ou utilização obtida através de um período de tempo, refletindo custos efetivos durante esse período de tempo, assim, permitindo planejamento ou alocação de custos efetiva para um centro de dados que será preenchido gradualmente após construção inicial.

d. Alocação incluindo os efeitos de instalação modular, comissionamento ou fornecimento de dispositivos e capacidade dentro do centro de dados.

[0020] Em algumas concretizações da invenção, em que o sistema de simulação compreende uma pluralidade de nós representando dispositivos no centro de dados, cada nó pode ser uma 'caixa preta' dentro da simulação e não precisa representar uma função contínua, monotônica ou parametrizada, que pode ser resolvida por meios matemáticos analíticos tradicionais. Isso permite nós que, por exemplo:

a. Usam pontos de dados para perda ou eficiência por uma ou mais variáveis.

b. Usam funções parametrizadas para perda ou eficiência por uma ou mais variáveis.

c. Contêm funções avançadas, por exemplo, a simulação de sistemas de controle aplicados à instalação, tal como um estágio de resfriador ou controle de economizador.

d. Podem representar um ou mais tipos de dispositivo, por exemplo, um nó de 'resfriador' pode conter a(s) bomba(s) de resfriador, bomba(s) de água e cargas secas de ventilador de refrigerador, descrevendo o desempenho do conjunto.

e. Podem realizar funções de distribuição ou transformação, por exemplo, um nó pode simular o movimento acionado por *software* de controle de cargas de trabalho de máquinas virtuais através de máquinas físicas, incluindo a colocação de máquinas físicas nos estados de economia de energia ou desligadas, quando cargas de trabalho líquidas não requerem sua capacidade.

[0021] Em algumas concretizações, onde o simulador representa, efetivamente todo o sistema do centro de dados, é possível determinar as respostas para uma faixa arbitrária de questões e cenários. Como essas concretizações do simulador podem proporcionar uma estrutura para o desenvolvimento adicional de elementos de simulação de níveis de componentes especializados, que podem, então, ser exercidos no contexto total dos elementos dependentes e de acionamento e fatores externos do centro de dados. Por exemplo, um economizador de resfriamento pode ser avaliado de modo útil, considerando a carga térmica variável e/ou umidade através do tempo em ciclos diários e anuais.

[0022] Em algumas concretizações, o simulador pode ser usado para modelar múltiplos espaços de centro de dados ou mesmo múltiplos centros de dados, por exemplo, centros de dados geograficamente distantes. Isso proporciona a capacidade para determinar o impacto, por exemplo, de aplicação de uma nova carga de TI a um centro de dados, comparado com outro ou o efeito de movimentação de uma carga de TI de um centro de dados para outro.

[0023] Algumas concretizações proporcionam uma estrutura mediante a qual outros sistemas de análise e de relato podem ser construídos ou proporcionar uma estrutura mediante a qual sistemas de controle avançados, que utilizam

a compreensão dos níveis de sistemas proporcionada pelo simulador. Por exemplo, um sistema de controle pode usar previsão ou sistema por metas, em lugar de sistemas de realimentação bruta e 'parâmetros de ajuste' para otimizar o comportamento do alvo determinado.

[0024] Em um aspecto, a simulação de núcleo de nós interconectados está enrolada em uma série de camadas externas de fornecimento de dados, iteração e análise. Isso permite que múltiplas variáveis internas e externas sejam mudadas segundo o tempo de simulação para análise significativa. Subconjuntos específicos de variáveis podem ser varridos em qualquer combinação para análise tal como carga elétrica aplicada e temperatura externa para relatar eficiência de infraestrutura através da faixa de ambas as variáveis. Permite também, por exemplo, análise de sistema por metas e de Monte Carlo de qualquer variável ou conjunto de variáveis com ou sem correlação.

[0025] Um simulador de acordo com algumas concretizações é capaz de relatar, por exemplo:

a. A eficiência da infraestrutura do centro de dados obtida por:

- i. Temperatura externa e carga elétrica aplicada;
- ii. Tempo, incluindo todos os parâmetros, clima externo, carga elétrica aplicada, fornecimento modular de dispositivos.

b. O 'custo por quilowatt hora distribuído de energia para dispositivos de TI' com base nas perdas de energia na infraestrutura por:

- i. Temperatura externa e carga elétrica aplicada

ii. Tempo, incluindo todos os parâmetros, clima externo, carga elétrica aplicada, fornecimento modular de dispositivos.

c. O 'custo por quilowatt hora de energia distribuído para dispositivos de TI' com base nas perdas de energia e o custo da construção do centro de dados, instalação mecânica e elétrica, instalação, manutenção e operação por;

i. Temperatura externa e carga elétrica aplicada

ii. Tempo, incluindo todos os parâmetros, clima externo, carga elétrica aplicada, fornecimento modular de dispositivos.

d. O custo operacional da energia para uma carga descrita com base nas perdas de energia na infraestrutura por tempo, incluindo todos os parâmetros, clima externo, carga elétrica aplicada, fornecimento modular de dispositivos.

e. O custo de energia operacional 'completamente carregado' para uma carga descrita com base nas perdas de energia e o custo da construção do centro de dados, instalação mecânica, elétrica, instalação, manutenção e operação pelo tempo, incluindo todos os parâmetros, clima externo, carga elétrica aplicada, fornecimento modular de dispositivos.

f. A contribuição, para o uso global de energia, na alimentação de energia para a construção, carga elétrica, dispositivo de TI ou carga de trabalho de qualquer nó no esboço com base nas perdas de energia dentro do Sistema.

g. A contribuição para uma carga elétrica, dispositivo de TI ou custo de carga de trabalho de qualquer nó no esboço com base nas perdas de energia e o custo da construção do

centro de dados, instalação mecânica e elétrica, instalação, manutenção e operação.

h. O custo alocável para qualquer dispositivo de TI, carga de trabalho ou grupo de cargas de trabalho aplicadas, representando uma aplicação ou Serviço aplicado ao(s) grupo(s) de dispositivos de TI em uma ou mais instalações provenientes do:

i. Custo de capital de *hardware* e instalação

ii. Custo de manutenção de *hardware*, incluindo contratos de manutenção e tempo humano

iii. Custos de capital e operacionais da infraestrutura mecânica e elétrica do centro de dados com base na porção utilizada daquela capacidade incluindo fornecimento modular, com opções para utilização em um número e maneiras. Isso pode ser avaliado por carga através do tempo ou por meio de carga de pico.

iv. Custos de capital e operacionais não utilizados correspondentes da infraestrutura mecânica e elétrica do centro de dados com base com base na porção daquela capacidade que não é utilizada pelo dispositivo ou carga de trabalho, incluindo fornecimento modular, com opções para utilização de fator em um número de maneiras.

v. Custo de energia distribuída para o dispositivo de TI.

vi. Custo da energia perdida em perdas variáveis na infraestrutura do centro de dados devido à energia distribuída para o dispositivo de TI.

vii. O(s) dispositivo(s) ou carga(s) de trabalho compartilham do custo da energia perdida nas perdas fixas da infraestrutura, incluindo fornecimento modular, com opções para utilização de fator em um número de maneiras.

viii. A energia e carbono associado distribuídos para o dispositivo de TI.

ix. A energia e carbono associado perdidos em perdas variáveis na infraestrutura do centro de dados devido à energia distribuída para o dispositivo de TI.

x. O(s) dispositivo(s) ou carga(s) de trabalho compartilham da energia e carbono associado perdidos nas perdas fixas da infraestrutura de centro de dados, incluindo fornecimento modular, com opções para utilização de fator em um número de maneiras.

xi. O custo e o consumo de energia totais de qualquer dispositivo na infraestrutura e a alocação daqueles custos financeiros e de energia para os dispositivos de TI suportados, cargas de trabalho ou cargas elétricas dentro do centro de dados.

[0026] Em um aspecto, os nós dentro da simulação passam dados usando um formato de dados extensível, permitindo dados muito mais ricos do que simplesmente Watts e Custo a serem passados e avaliados. Esses dados podem incluir:

- a. Uma faixa de categorias de custo
- b. Energia passada como um vetor de magnitude das correntes em fase e fora de fase extraídas por um dispositivo para um número arbitrário de harmônicos. Isso permite:

- i. Descrição efetiva do fator de energia de uma carga de dispositivo.

- ii. Soma efetiva da carga de múltiplos dispositivos, incluindo o cancelamento total ou parcial de componentes harmônicos, por exemplo, carga capacitiva contra carga indutiva.

iii. Nós cuja capacidade ou desempenho é impactado pelo fator de energia da carga aplicada.

iv. Nós que afetam o fator de energia de uma carga aplicada, como circuitos ou transformadores de correção de fator de energia.

c. Valores adicionais, tais como umidade absoluta ou relativa, massa de água ou taxa de massa de água, a serem passados entre nós. Isso permite:

i. Descrição efetiva dos efeitos de umidificação e desumidificação de dispositivos.

ii. Descrição efetiva do impacto de umidade sobre a eficiência, capacidade e carga apresentada por dispositivos, por exemplo, a *Sensible Heat Ratio* variável de unidades de condicionamento de ar sob umidade variável.

iii. Descrição efetiva do impacto de pontos, faixas ou alvos de ajuste de umidade variáveis.

iv. Modelagem efetiva do impacto de sistemas externos de troca de ar.

v. Modelagem efetiva dos benefícios de sistemas de umidificação adiabáticos

[0027] Em um aspecto, o simulador é capaz de realizar uma faixa de alocações de energia e custo para o centro de dados ou componentes dentro dele, incluindo um ou mais de "*Fair share allocation*", "*True allocation*" e outros níveis de alocação referidos acima.

[0028] Em *Fair share allocation*, o simulador é capaz de representar o "*fair share*" da energia e custo globais do centro de dados para uma carga específica, dispositivo ou grupos de dispositivos. Isso leva em conta a alocação e a extração de energia e o nível de utilização do centro de

dados. É provável que esse custo seja usado como a base para uma métrica interna de *chargeback*.

[0029] Na *True allocation*, o simulador é capaz de representar o custo da carga específica, dispositivo ou grupo de dispositivos e consumo de energia levando em conta a alocação, extração e nível de utilização. Esse custo é específico para o dispositivo ou carga e representa o compartilhamento real de perda e custo de componentes da cadeia de energia, força e resfriamento realmente incorridos por aquela carga ou dispositivo específicos. É provável que isso seja usado para a análise interna de custo de distribuição.

[0030] Um exemplo da diferença entre custos de "*true*" e "*fair share*" serão dois servidores idênticos em um centro de dados sob carga de trabalho idêntica com capacidade idêntica de energia e resfriamento fornecidos, um dos quais é alimentado com energia através de um conjunto mais caro de equipamentos do que o outro cujo equipamento de alimentação de energia é mais barato, mas tem perdas de energia maiores. Na análise de "*fair share*", é tirada a média do custo do equipamento de distribuição de energia e das perdas de energia através de toda a carga de TI e aos dois servidores caberiam a mesma energia e custo. Na análise "*true*", a um servidor caberão custos mais altos de infraestrutura para distribuição de energia, mas custos de energia menores do que os do outro, representando uma análise mais realística dos custos comparativos.

[0031] O simulador de algumas concretizações, em um modo de "*Marginal allocation*", é capaz de relatar a energia marginal e o custo de uma carga adicional, dispositivo ou grupo de dispositivos no centro de dados. Isso pode incluir

custos de capital e operacionais e energia de dispositivos adicionais, onde limites de capacidade de infraestrutura modular são desencadeados em tempos diferentes na simulação.

[0032] Esses vários modos de análise proporcionam informação comercial substancial para suporte de decisões, por exemplo, preços do serviço, seleção e emprego de equipamento e/ou alocação de carga de trabalho e programação.

[0033] Algumas concretizações de métodos e sistema de simulação de acordo com aspectos da presente invenção são capazes de análise de capacidade. Como o simulador pode conhecer a capacidade nominal de cada grupo de dispositivos em cada nó bem como as capacidades nominais dos dispositivos dentro dos nós e seu mecanismo operacional, o simulador é capaz de:

a. Aumento de avisos e erros onde um dispositivo ou nó é provisionado além de sua capacidade nominal ou um limite (por exemplo, 90%) da capacidade nominal.

b. Determinação, automaticamente, dos pontos de tempo onde os primeiros ou dispositivos adicionais precisarão ser instalados em nós para satisfazer as cargas de trabalho elétricas ou de TI para a instalação. Isso também proporciona planejamento financeiro detalhado visto que a análise de custos é capaz de aplicar custos de capital, instalação, manutenção, etc. para o equipamento adicional no tempo de instalação requerido.

c. Ambos, avisos e limites de capacidade de instalação, são capazes de considerar os impactos do espaço operacional sobre a capacidade do(s) dispositivo(s) ou nó(s), por exemplo, a capacidade de elementos de infraestrutura elétrica pode depender do fator de força da carga aplicada enquanto a capacidade dos sistemas de

resfriamento pode depender das temperaturas internas e externas.

[0034] As concretizações também podem ser usadas para suporte de decisão através da utilização dos modos variados de análise de custo e energia para proporcionar informação comercial substancial, se necessário em tempo real, quando conectada aos sistemas de monitoração e banco de dados de ativos para suportar decisões sobre:

- a. Preço de serviços
- b. Seleção e emprego de equipamento
- c. Alocação e programação de carga de trabalho

[0035] As concretizações também podem ser usadas para aplicações de faturamento. A análise financeira detalhada disponível do simulador pode proporcionar uma base correta e justificável para faturamento de serviços do centro de dados, bem como a realização de análise sobre as diferenças entre o custo de operadores e sua receita sob diferentes comportamentos de clientes e fatores externos variáveis, tais como o custo de energia ou do carbono.

[0036] Em um aspecto, a invenção proporciona um simulador que é capaz de representar múltiplas conexões de cursos com logica divisora variada. Isso pode ser usado para representar, por exemplo:

a. Dispositivo com múltiplos cursos de energia através da infraestrutura, por exemplo, um servidor pode ter duas conexões de energia, uma em uma alimentação protegida de UPS e uma em uma alimentação protegida não UPS. O simulador é capaz de representar, efetivamente os custos de energia extraída e provisionada sob qualquer comportamento de energia dividida entre as duas alimentações.

b. Dispositivos com múltiplos cursos de resfriamento através da infraestrutura, por exemplo, um chassi de servidor pode ser resfriado a ar parcialmente, e resfriado diretamente com água de modo parcial. O simulador é capaz de representar, efetivamente, as cargas térmicas provisionadas e aplicadas e custos resultantes sob qualquer dado comportamento de carga térmica dividida e diferenças de temperatura entre os dois cursos de resfriamento, talvez ar, em 25 graus Celsius e água para o resfriamento de fluido em 50 graus Celsius.

Breve Descrição de Desenhos

[0037] Concretizações e características opcionais da invenção são descritas abaixo, com referência aos desenhos anexos, em que:

- A figura 1 ilustra o curso de distribuição de energia de TI e perdas, em um centro de dados típico;

- A figura 2 mostra a mudança com carga de TI de energia de entrada de centro de dados requerida para distribuir energia para uma carga elétrica de TI de 1 MW;

- A figura 3 mostra a mudança na eficiência do centro de dados isto que a carga elétrica de TI aumenta de zero a carga total;

- A figura 4 mostra eficiência do centro de dados contra carga de TI sob um cenário de provisionamento modular;

- A figura 5 mostra um gráfico de DCIE por carta elétrica de TI e temperatura externa;

- A figura 6 ilustra o escopo da cobertura do simulador para uma concretização da presente invenção e a variabilidade nos parâmetros operacionais de um centro de dados que o simulador pode levar em conta;

- A figura 7 ilustra, esquematicamente, um nó individual do ambiente de simulação de uma concretização da invenção;

- A figura 8 ilustra a maneira em que múltiplos nós de diferentes tipos podem ser conectados um ao outro em uma simulação de um centro de dados;

- A figura 9 ilustra nós de dispositivos conectados para simular a corrente de distribuição de energia de um centro de dados, a transferência de energia sendo ilustrada com linhas sólidas;

- A figura 10 mostra nós de dispositivos conectados para simular a cadeia térmica de um centro de dados, os fluxos térmicos sendo mostrados em linhas de elos de cadeia;

- A figura 11 mostra os nós de dispositivos, conexões de distribuição de energia e conexões térmicas das figuras 9 e 10 fundidas;

- A figura 12 é uma representação de um centro de corredores de dados únicos, simples;

- A figura 13 é um modelo de um dispositivo de TI usado na simulação de uma concretização da invenção;

- A figura 14 mostra a relação entre carga de trabalho de servidor, energia de servidor extraída (bloco sólido) e eficiência de servidor (linha);

- A figura 15 ilustra a maneira em que a carga elétrica de TI de modelos de simulação que não o(s) dispositivo(s) de TI que está(ão) sendo analisado(s), a fim de que o dispositivo de TI seja analisado em um contexto operacional;

- A figura 16 ilustra a integração do dispositivo de TI e modelo elétrico de TI da figura 15 no modelo das correntes combinadas de energia e térmica da figura 11;

- A figura 17 é um gráfico de energia extraída fixa e variável de dispositivo de TI contra carga de trabalho de TI;

- A figura 18 mostra o modelo de simulação da figura 16 com nós adicionais e conexões para permitir alocação de energia fixa e variável de dispositivo de TI;

- A figura 19 mostra o modelo de simulação da figura 18 com nós adicionais e conexões para permitir alocação completa de energia e custo;

- As figuras 20, 21 e 22 são ilustrações esquemáticas da estrutura de *software* de três concretizações do simulador;

- As figuras 23 a 25 são gráficos de uso global de custo e energia de dispositivo de TI para dois cenários comparativos; e

- A figura 26 é um gráfico comparativo de uso global (centro de dados) de custo e energia para os dois cenários.

Descrição de Concretizações e Características Opcionais.

VISÃO GERAL DO CENTRO DE DADOS

[0038] O simulador de centro de dados exemplificativo descrito abaixo é uma ferramenta de análise que opera em pelo menos dois modos básicos, desempenho de infraestrutura de centro de dados e análise de carga de trabalho de TI ou de dispositivo de TI. Outros modos também podem ser implementados, tais como o modo de faturamento, modo de previsão de capacidade e modo analítico em tempo real, por exemplo.

Relatório e análise

[0039] Ferramentas e métricas para o centro de dados podem ser amplamente categorizadas como relato ou análise.

Medições e Métricas de Relatório

[0040] Métricas de relatório incluem a métrica de Green Grid DCIE¹ (*Data Center Infrastructure Efficiency*) de eficiência de transferência de energia elétrica. Essa métrica expressa a eficiência com que a instalação mecânica

e elétrica do centro de dados transfere energia da alimentação de construção para o equipamento de TI.

$$DCIE = \frac{\text{Energia de Equipamento de TI}}{\text{Energia Total da Instalação}}$$

[0041] O DCIE pode ser medido em um único ponto no tempo ou através de um período de tempo. Um relatório de DCIE para um centro de dados dá uma visão da eficiência obtida segundo a cominação específica de condições durante o período de medição.

Ferramentas de Análise e Diagnóstico

[0042] Embora a abordagem da métrica de relatório seja efetiva no fornecimento do reconhecimento inicial de um problema de eficiência, é mais necessário definir uma solução. Há também uma exigência de ferramentas de análise para determinar por que a eficiência é como medida e auxiliar operadores na avaliação e justificação de negócios de aperfeiçoamentos financeiros e ambientais efetivos.

[0043] O simulador do centro de dados é como uma ferramenta de análise, projetada para ajudar a proporcionar compreensão e respostas a essas questões. O simulador proporciona *insight* na infraestrutura do centro de dados (construção) e como isso interage com o *hardware* de TI a que dá suporte.

Eficiência do centro de dados

[0044] O primeiro modo da ferramenta do simulador permite a modelagem e a análise da eficiência da infraestrutura do centro de dados, a saída desse estágio é proporcionada como um relatório de DCIE do desempenho, conforme simulado.

Visão geral da eficiência do centro de dados

[0045] Para explicar a saída desse modo, é necessário proporcionar uma visão geral resumida do

comportamento da infraestrutura mecânica e elétrica do centro de dados.

[0046] Conforme mostrado na figura 1, a energia é fornecida para o centro de dados, tipicamente, de uma alimentação de instalação 101. Essa energia, então, passa através de um conjunto de dispositivos elétricos de conversão, condicionamento e distribuição de energia 102 no caminho para o equipamento de TI 110. Cada um desses dispositivos exibe alguma ineficiência e alguma da energia é perdida. A instalação mecânica do centro de dados também é consumidora de energia, principalmente as unidades de CRAC (Ar condicionado de sala de computadores) 103 e a instalação de resfriador 104. Finalmente, haverá serviços auxiliares 105, tais como iluminação, supressão de fogo e preaquecedores de geradores, que também consomem energia.

[0047] Na figura 2, mostramos uma visão simplificada do impacto dessas perdas sobre a energia de entrada de utilidade do centro de dados requerida para distribuir energia para uma carga elétrica de TI de 1 MW. Conforme mostrado, a demanda total de energia na carga total é em torno de 205% da carga elétrica de TI. De maior importância, porém, é a sobrecarga (Vide artigo BCS "*Data Centre Efficiency Metrics*" para uma explicação mais detalhada a respeito, <http://www.bcs.org/datacentreenergy>) fixa da infraestrutura mecânica e elétrica do centro de dados. Em carga elétrica de TI zero essa instalação ainda extrairá em torno de 600 kW da instalação.

[0048] Essa sobrecarga fixa significa que a eficiência do centro de dados (DCIE) variará com a carga elétrica de TI no centro de dados. Conforme mostrado na figura 3, em carga total, a DCIE está exatamente abaixo de

0,5; mas, em 20% da carga nominal total a DCIE caiu para 0,23 devido a relação de mudança entre o consumo fixo e variável de energia.

[0049] Essa variabilidade da eficiência do centro de dados com carga significa que nós não podemos realizar, de modo útil, análise ou comparação de centros de dados com valores de DCIE medidos visto que esses valores relatados não proporcionam informação suficiente para comparar centros de dados ou avaliar o impacto de quaisquer mudanças.

[0050] A carga elétrica e, portanto, a eficiência obtida do centro de dados variará com o tempo, à medida que o equipamento de TI é instalado e alterado no centro de dados e com mais equipamento de TI modernos, à medida que a carga de trabalho de TI aplicada muda. A virtualização, a grade e tecnologias de MAID (*Massive Array of Idle Disks*, um sistema RAID que desliga discos rígidos quando não estão em uso) estão todas permitindo grandes variações em carga elétrica de TI visto que são instaladas em centros de dados através de sua capacidade para permitir aos dispositivos ficarem parados, inativos ou desligados, quando não requeridos.

Eficiência do centro de dados e provisionamento modular

[0051] Um exemplo de variabilidade complexa de DCIE é um centro de dados modular, de desenho mais moderno. Neste exemplo, a instalação mecânica e elétrica do centro de dados é desenvolvida em estágios. As PDU (*Power Distribution Unit*, unidade grande autônoma, não os filtros de linha em racks), UPS (*Interruptible Power Supply*), CRAC e sistemas de resfriador em etapas de 200 kW (degrau de carga elétrica de TI de 200kW, os incrementos reais são maiores para a maioria dos dispositivos devido às perdas de outros dispositivos nos sistemas de energia e refrigeração, estas serão de ~200kW

para as unidades CRAC e maiores para o transformador) de carga elétrica de TI nominal para a capacidade total de 1 MW. Conforme mostrado na figura 4, nós agora temos uma família de curvas de DCIE. O emprego modular proporciona aperfeiçoamentos substanciais da eficiência nos estágios anteriores da operação da instalação, onde a instalação está em baixa utilização bem como redução de custos de capital iniciais e aperfeiçoamento da flexibilidade. A sobrecarga fixa do centro de dados é reduzida em capacidades nominais menores através das quantidades reduzidas de equipamento mecânico e elétrico e suas perdas reduzidas. Essa abordagem modular fixa é de menor valor em uma instalação onde o equipamento de TI pode exibir grandes variações na carga elétrica.

Eficiência do centro de dados e temperatura externa

[0052] O outro fator de maior influência sobre a eficiência do centro de dados pela temperatura externa em que estão tentando rejeitar energia como calor.

[0053] Conforme mostrado na figura 5, a eficiência do centro de dados varia substancialmente com a temperatura externa. A fim de compreender, efetivamente, as características da eficiência de custo e energia de um centro de dados ou predizer o impacto das mudanças nos sistemas mecânicos e elétricos ou sistemas de TI é necessário compreender a variação da eficiência com a carga elétrica de TI e a temperatura externa.

SIMULAÇÃO DE CENTRO DE DADOS

[0054] O simulador de centro de dados foi projetado como ferramenta estrutural para circundar toda a faixa de fatores que afetam o custo do centro de dados e o desempenho da energia.

Escopo do Simulador

[0055] O centro de dados é um ambiente complexo que cobre uma ampla faixa de disciplinas técnicas, conjuntos de habilidades e papéis frequentemente organizacionais. Isso tem levado ao desenvolvimento de uma faixa de calculadoras componentes e ferramentas específicas de disciplinas que procuram direcionar as questões de energia e custo de um centro de dados de modem. O simulador cobre a faixa de cargas de trabalho de TI aplicadas aos dispositivos de TI através dos sistemas elétricos e mecânicos através as alimentações de energia e clima externo.

A necessidade de uma simulação de níveis do sistema

[0056] Conforme discutido acima, a eficiência da instalação não é uma constante que pode ser medida e, então, usada para análise ou comparação de centros de dados. A carga elétrica aplicada à infraestrutura pelo equipamento de TI afeta a eficiência da infraestrutura. A eficiência do centro de dados também é afetada pela temperatura externa e pela umidade, que varia com a hora do dia e a estação. Embora muitos equipamentos legados de TI consumam perto de sua potência total, independentemente da carga e poderiam ser vistos de uma perspectiva mecânica e elétrica como pouco mais do que resistores caros, uma vez instalados no centro de dados, equipamento de modem de TI está sendo projetado para expor uma ligação muito forte entre a carga de trabalho de TI aplicada e o consumo de energia elétrica. Como a carga de trabalho de TI, acionando a carga elétrica de TI, e a temperatura externa variam de acordo com a hora do dia não podemos avaliar utilmente a eficiência do centro de dados pela temperatura externa, sem considerar a variação na carga elétrica de TI devido à carga de trabalho de TI ao mesmo

tempo. O desenvolvimento e a implementação de máquina virtuais móveis, levando a tecnologias de computação em grade verdadeira, torna esta questão mais significativa.

[0057] Esta interdependência torna difícil realizar a análise do centro de dados ou prever o impacto de quaisquer alterações em qualquer parte do centro de dados sem considerar todas as variáveis externas e todo o centro de dados como um sistema. Com esta gama de fatores externos conectados, torna-se rapidamente difícil analisar o desempenho de um projeto de centro de dados ou o impacto de qualquer mudança para uma instalação existente.

[0058] Como mostrado na figura 6, o simulador de sistema completo aqui descrito capta a variabilidade de cada área de cobertura e fornece uma estrutura operacional em que os modelos de simulação de cada componente pode operar, como parte do sistema completo, enquanto considerando apenas as suas dependências diretas. O usuário pode especificar as variáveis externas tais como o custo da energia ou a carga de trabalho de TI pelo tempo e o desempenho de dispositivos, tais como UPS pela carga aplicada e o simulador irá trabalhar através das variáveis e dependências.

Abordagem de Simulação

[0059] A abordagem básica do simulador é a criação de uma representação do centro de dados utilizando um conjunto de nós que representam os dispositivos individuais. Isso é, então, avaliado por um único conjunto de valores de entrada de dados e os dados resultantes retidos para essa etapa. O simulador, em seguida, percorre as etapas necessárias para produzir a saída de simulação solicitada, aplicando os dados fornecidos para as variáveis externas conforme necessário.

[0060] Mais especificamente, cada elemento do sistema do centro de dados está representado como um nó individual. Um nó contém a lógica para simular esse elemento. Um nó é fornecido com dados de desempenho do dispositivo e variáveis externas pelo simulador. Os nós são conectados juntos no simulador usando interfaces definidas.

[0061] Ambos, energia (energia elétrica) e as cargas térmicas estão representadas no simulador de energia. Essas cargas podem assumir a forma de números simples ou matrizes estruturadas de valores para representar construções complexas, como a fase de harmônicos de frequência, compondo um "fator de potência" elétrica.

[0062] O simulador trata cada nó como uma "caixa preta" e, portanto, não se restringe a funções contínuas simplificadas, mas é capaz de incorporar comportamentos complexos de dispositivos disjuntos até e incluindo a simulação de sistemas de controle complexos.

[0063] O simulador é capaz de representar enlaces de realimentação dentro da infraestrutura que torna a análise tradicional difícil. Por exemplo, uma unidade de condicionamento de ar pode ser alimentada a partir de um dispositivo que está na área que a unidade está resfriando, visto que a unidade de condicionamento de ar lida com a carga térmica na área que consome energia, isso induz perdas adicionais no dispositivo de fornecimento de energia, aumentando as perdas térmicas com que a unidade de condicionamento de ar deve lidar, aumentando o consumo de energia, etc.

[0064] Essas abordagens simplificam substancialmente a criação componentes de simulação específicos de dispositivo através do fornecimento de um

ambiente completo e contexto para representações funcionais específicas de dispositivo.

[0065] A figura 7 ilustra, esquematicamente, um nó individual 710 do ambiente de simulação.

[0066] Cada nó 710, geralmente, tem pelo menos três conexões básicas com outros nós dentro da estrutura modelada:

1) A carga aplicada 720 sendo aquela carga de trabalho de aplicação, térmica, elétrica ou outra;

2) As perdas 730 incorridas na manipulação da carga aplicada 720;

3) A carga extraída 740 resultante da manipulação da carga aplicada 720.

[0067] Mais geralmente, porém, os nós podem ter um número arbitrário de conexões. Por exemplo, um nó trocador de calor poderia ter duas saídas, a carga térmica transferida com sucesso e a carga de “desvio” como um restante.

[0068] Cada nó também tem acesso a quaisquer dados externos que ele necessite para realizar a sua simulação. Os dados externos são fornecidos pela estrutura de simulação 750. Isto permite dados que variam de acordo com uma das variáveis de simulação, como o tempo. Também pode permitir que os dados medidos reais, como temperatura externa e umidade, por exemplo.

[0069] Por exemplo, um nó, que representa um elemento da infraestrutura elétrica teria uma carga aplicada que representa a potência absorvida pelos dispositivos conectados, o nó sofreria então algum nível de perdas dependentes da carga, tal como definido pelo modelo de nó e os parâmetros fornecidos. Essas perdas seriam fornecidas na interface de perdas e provavelmente coletadas como perdas térmicas para ser levado para um nó de condicionamento de

ar. Em um nó elétrico as perdas são geralmente somadas com a carga aplicada para fornecer a carga utilizada. Dados externos poderiam incluir a capacidade dos dispositivos no nó elétrico, os dados de desempenho exigidos e todos os dados dependentes de variáveis tais como as condições climáticas externas para um nó da instalação do resfriador, por exemplo.

[0070] Os nós usados no simulador de centro de dados podem ser considerados cair em cinco tipos básicos:

a. 'Nós elétricos' 810 são usados para representar elementos da infraestrutura elétrica (distribuição de energia) do centro de dados;

b. Nós térmicos 820 são usados para representar elementos da infraestrutura mecânica (remoção de calor) do centro de dados;

c. 'Nós de carga' 830 são usados para aplicar cargas aos dispositivos. Isso inclui cargas elétricas & térmicas aplicadas à infraestrutura, bem como cargas de trabalho aplicadas aos dispositivos de TI.

d. 'Nós especiais' 840 atuam como uma fonte de energia ou sumidouro para emissões térmicas do centro de dados. Exemplos incluem nós do Centro de Dados (que podem atuar uma fonte de energia) e nós do Ambiente (que podem atuar como um sumidouro para emissões térmicas).

e. 'Nós lógicos' 850 são responsáveis pela implementação de funções de conversão, direção ou combinação de carga mais avançada e podem ser usados, por exemplo, para simular sistemas de controle dentro do centro de dados. Um exemplo de um nó lógico é um nó de soma para a criação de um conjunto de carga, aplicando uma função de unificação (possivelmente, a soma aritmética) e passando as cargas unidas para outro nó. Outro exemplo é um nó divisor que

desvia quantidades ou proporções variáveis de uma carga para outros nós.

[0071] A figura 8 ilustra como esses vários tipos e nó poderiam ser conectados em um simulador de centro de dados.

Nós de dispositivos

[0072] O elemento básico da simulação é o nó do dispositivo. Cada nó representa um ou mais de um tipo de dispositivo, por exemplo, uma fonte de alimentação ininterrupta. O nó tem entradas para fornecer os dados de desempenho para esse dispositivo, bem como a carga aplicada e quaisquer outros fatores externos que o nó do dispositivo necessita para determinar o seu comportamento, tal como a temperatura externa para uma instalação de resfriador.

[0073] O nó de dispositivo também tem pelo menos duas saídas (embora nem todos sejam obrigados a serem conectadas), carga e perda, geralmente, a energia elétrica consumida e a saída de calor. Os nós não estão cientes de tempo ou quaisquer outros fatores que não afetem diretamente o nó; o simulador é responsável por garantir que todos os parâmetros aplicados estão corretos para essa etapa na simulação.

[0074] Os tipos básicos de dispositivos representados são:

Tipo de nó de dispositivo	Tipo de dados de desempenho	Depende de
Cargas elétricas de TI	fonte de carga	Tempo
Iluminação e outras despesas	fonte de carga	Tempo
Fonte de Energia ininterrupta	perda por carga elétrica	carga elétrica

Unidades de distribuição de energia	perda por carga elétrica	carga elétrica
Cabeamento	perda por carga elétrica	carga elétrica
Transformadores	perda por carga elétrica	carga elétrica
Unidades de condicionamento de ar em espaço de computador	carga elétrica por carga térmica	carga elétrica
Componentes de instalação de resfriador	carga elétrica por carga térmica e temperatura	carga elétrica

Tabela 1 – Tipos básicos de nós de dispositivo

Cadeia de energia

[0075] Os nós são conectados dentro do simulador para representar os cursos de energia dentro do centro de dados. O primeiro curso de energia é a cadeia de distribuição de energia elétrica, formada pela instalação elétrica do centro de dados. Um exemplo disso é mostrado na figura 9.

[0076] Neste exemplo simplificado, começamos com o nó da carga eléctrica de TI 910 que é usado pelo simulador para aplicar uma carga ao centro de dados. Essa fonte de carga é eletricamente conectada a um nó PDU 920. O nó PDU tem um conjunto de dados que descrevem as perdas que incorre a distribuição de energia, o nó PDU adiciona essas perdas à energia consumida pelo nó de carga eléctrica de TI 910 e passa essa carga para UPS 930, que adiciona as perdas e assim por diante até chegar ao transformador 940 e o uso global de energia direta 950 do sistema eléctrico do centro de dados.

Cadeia térmica

[0077] O segundo maior curso de energia na infraestrutura do centro de dados é a cadeia térmica formada pela instalação mecânica. Um exemplo é mostrado na figura 10.

[0078] Neste exemplo, mais uma vez, simplificado, estamos lidando com as cargas térmicas dentro do centro de dados. Cada um dos nós da cadeia elétrica que apresenta perdas térmicas na área arrefecida do centro de dados é incluído. As cargas elétricas de TI, efetivamente, "perdem" toda a sua potência de entrada em forma de calor, enquanto a infraestrutura elétrica só rejeita as perdas do nó como calor. Essas cargas térmicas são somadas e aplicadas às unidades CRAC que são responsáveis para a remoção do calor da área arrefecida do centro de dados. O nó CRAC 1010 tem uma função de perda que expressa a energia elétrica consumida para tratar uma determinada carga térmica aplicada, trata-se sobretudo de potência do motor do ventilador, embora em um sistema híbrido ou de DX isso pode ser também a energia do compressor ou da bomba. Note-se que os modelos mais avançados da unidade HVAC podem também representar as perdas de desumidificação devido à divisão entre o arrefecimento sensível e latente nas temperaturas de trabalho e umidades, bem como a carga elétrica de reumidificação ou determinar a sua carga do motor a partir de um volume de fluxo de ar requerido, onde necessário. Esta perda é então adicionada à carga térmica e aplicada à instalação do resfriador 1020. O nó de instalação de resfriador usa tanto a temperatura externa 1030 quanto a carga térmica aplicada para determinar o seu consumo de energia.

Cadeias conectadas e iteração

[0079] A etapa final na preparação do modelo de nó para simulação é conectar as cadeias de energia e térmicas como mostrado na figura 11.

[0080] Além das cadeias básicas, também aplicamos a energia consumida pelos nós de instalação de resfriador e

CRAC da instalação mecânica para os nós da instalação elétrica (representado por conexões 1110). Um aspecto importante disso é que os nós suportam enlaces de realimentação. Por exemplo, as unidades de CRAC 1010 podem ser alimentadas a partir da alimentação de energia UPS criando esse laço onde a energia consumida pelas unidades CRAC 1010 aumenta a carga sobre o UPS 930, aumentando assim as suas perdas e a carga térmica aplicada às unidades CRAC 1010, assim, o seu consumo de energia e a carga sobre as UPS etc. Onde esses enlaces ocorrem o simulador simplesmente faz a iteração até que as cargas estabilizem e o resultado de trabalho do sistema é alcançado.

Etapas de Simulação

[0081] Com as cadeias elétricas e mecânicas do centro de dados conectadas, a simulação da eficiência do centro de dados pode ser realizada. A saída disso é o gráfico de superfície de DCIE contra a carga elétrica de TI e a temperatura externa.

[0082] Para fazer isso a estrutura do simulador configura a simulação do núcleo de nós conectados, carrega os valores de dados de desempenho nesses nós e, em seguida, define a primeira temperatura e o ponto de carga elétrica de TI como entradas. Isto produz o primeiro ponto de dados de eficiência de saída que é mantido. A carga elétrica de TI é então aumentada em etapas (por exemplo, etapas de 5%) de 0% até 100% da carga elétrica nominal de TI. Isto produz uma eficiência contra a curva de carga para uma única temperatura similar à mostrada na figura 3 calculada para etapas de 5% na carga elétrica.

[0083] A estrutura do simulador, em seguida, aumenta a temperatura por um tamanho de etapa solicitado (por

exemplo, 5° C) e repete o movimento da carga de 0% a 100% armazenando a eficiência conseguida para esta temperatura. A temperatura é aumentada até que o limite de temperatura superior da simulação é alcançado e a grade total de DCIE por ambas, a carga elétrica e a temperatura externa, esteja completa para produzir o gráfico de superfície, como mostrado na figura 5, calculado para carga elétrica 5% e etapas de 5°C.

Representação lógica de layouts

[0084] O simulador utiliza layouts que são representações lógicas da infraestrutura mecânica e elétrica do centro de dados. Estes esquemas simplificados fornecem uma aproximação efetiva do desempenho do centro de dados com a complexidade substancialmente reduzida. O núcleo simulador é capaz de simular um número muito grande de nós, mas trata apenas precisão adicional limitada e torna-se muito específica do centro de dados.

[0085] Um centro de dados de espaço simples, único, é representado na figura 12. Este é um centro de dados simples com a energia de UPS protegida para os dispositivos de TI e as unidades de CRAC apenas na base dos dados. Nenhuma outra área do centro de dados é resfriada a partir da instalação de resfriador principal.

Dispositivos múltiplos e resiliência

[0086] Nos layouts de representação lógica apenas um único nó para cada tipo de dispositivo é dado. Isto não significa que existe apenas um dispositivo, por exemplo, no esquema na figura 12, espera-se que haja mais do que um UPS mas que a maneira como eles são implantados nos permita representá-los logicamente como um único nó.

[0087] Ao configurar um nó são fornecidos os parâmetros do dispositivo individual, em geral, a capacidade nominal e os dados de perda de carga. Estes são, então, suplementados por informações para permitir que o simulador compreenda o modo de funcionamento, incluindo os níveis de resiliência.

[0088] Tomando o nó UPS na figura 12 como exemplo, os seguintes dados poderiam ser fornecidos:

- . Os dispositivos de UPS são classificados em 300 kW cada;

- . Há três UPS em resiliência de N+1, proporcionando uma capacidade nominal de 600 kW ($300\text{kW} * (3-1) = 600\text{kW}$)

- . Os +1 UPS está em um modo ativo de compartilhamento de carga e, portanto, cada UPS receberá 1/3 da carga elétrica aplicada.

[0089] A Tabela 2 mostra três exemplos de como a capacidade da UPS neste nó poderia ser logicamente representada. O simulador não é uma ferramenta de avaliação da confiabilidade e da capacidade de manutenção do centro de dados, mas pode ser informado da abordagem da resiliência utilizada para determinar a concepção e capacidades instaladas do grupo de dispositivos no nó.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Capacidade nominal de dispositivo	300 kW	300 kW	300 kW
Capacidade provisionada	600 kW	600 kW	600 kW
Nível de resiliência	N+1	N+1	2 (N+1)
Modo de operação	Compartilhamento de carga ativa	Standby	Compartilhamento de carga ativa

Contagem total de dispositivo	3	3	6
Capacidade total de dispositivo	900 kW	900 kW	1800 kW
Contagem ativa de dispositivo	3	2	6
Capacidade ativa de dispositivo	900 kW	600 kW	1800 kW
Carga em cada dispositivo	1/3	1/2	1/6
Parte da capacidade de dispositivo em carga provisionada total	2/3	1	1/3

Tabela 2 - Exemplos de dados de resiliência de nó e capacidade

Estágio e capacidade

[0090] O simulador implementa um conjunto de regras definidas pelo usuário que rege o método de operação de vários dispositivos em um único nó, incluindo o modo de resiliência, por exemplo, ativo/ ativo ou ativo/ standby, o método de distribuição de carga, mesmo compartilhamento, estágios, etc., que permitem que o número de dispositivos ativos e seus respectivos pontos de carga sejam gerenciados dinamicamente de maneira representativa de seus sistemas de instalação, gerenciamento ou de controle.

Instalações Modulares

[0091] O número, a presença ou a capacidade de dispositivos no centro de dados e capacidade do centro de dados global podem variar com o tempo no simulador para permitir a simulação de implantação modular, remoção,

migração ou substituição de TI, capacidade elétrica ou mecânica através da duração operacional da construção.

Despesa Fixa com consumo de energia

[0092] O simulador é capaz de determinar a despesa fixa de consumo de energia de um centro de dados em qualquer ponto no tempo, tendo em conta as condições ambientais externas, a configuração e estado de implementação da infraestrutura de centro de dados e gerenciamento operacional.

[0093] Isso não é possível em uma instalação de funcionamento sem interrupção substancial para serviço. A despesa fixa só pode ser aproximada por análise de regressão dos dados de energia que não proporcionam a análise causal ou capacidade preditiva. (Veja métricas de eficiência de energia do centro de dados por Liam Newcombe, *White paper de BCS* publicado disponível em <http://www.bcs.org/upload/pdf/data-centre-energy.pdf>).

Visão Geral de Simulação de TI

[0094] Um segundo modo do simulador do centro de dados é executar uma simulação de TI. Uma vez que um cenário de centro de dados tenha sido criado, o simulador é capaz de colocar dispositivos de TI naquele centro de dados e simular os impactos de energia e custos de operação daqueles dispositivos sob uma carga de trabalho de TI especificada através de um período de tempo especificado. A saída dessa simulação é um conjunto de dados de energia e de custos que representam o dispositivo de TI e os custos do consumo de energia, de capital e operacionais do centro de dados.

[0095] Embora exista um número de correntes de trabalho que visam a construção em métricas de relatórios no nível de infraestrutura, tais como DCIE e criando métricas

horizontais que descrevem a "eficiência" global de equipamentos de TI ou o sistema do centro de dados esta não é a abordagem adotada pelo simulador. Exatamente no nível de infraestrutura de centro de dados, métricas que relatam todo o centro de dados não fornecem a capacidade de análise para apoiar a avaliação do impacto da mudança ou geração de caso de negócio e não pode apoiar os mecanismos de cobrança retroativa úteis ou dignos de crédito.

[0096] A principal diferença na abordagem é que o simulador é capaz de assumir todas as variáveis que afetam o uso de energia e o custo de dispositivos de TI no centro de dados e fornecer uma visão vertical através do equipamento de TI e os dados de pilha de centro de dados para fornecer a alocação do uso de energia e custo dos dispositivos de TI em análise.

Visão Geral de simulação de TI

[0097] A simulação de um dispositivo de TI é conceitualmente simples; uma carga de trabalho de aplicação 1320 é aplicada pelo simulador a um nó 1310 que representa o(s) dispositivo(s) de TI a ser simulado. Esse nó 1310 tem uma ou mais funções de carga de aplicação a consumo de energia para o(s) dispositivo(s) de TI sob simulação e converte a carga de trabalho aplicada em um consumo de energia 1330 e saída de calor 1340, tal como ilustrado na figura 13.

[0098] Este consumo de energia e a saída de calor são então aplicados à infraestrutura de centro de dados simulado para determinar o uso real de energia e custo no fornecimento ao centro de dados da carga de trabalho aplicada no(s) dispositivo(s) de TI.

Carga de trabalho de dispositivo de TI para energia e eficiência

[0099] Um ponto chave é que os dispositivos de TI raramente apresentam eficiência de energia constante com carga de trabalho. Muito parecido com a infraestrutura de centro de dados, a eficiência alcançada em termos de carga de trabalho de TI pelo consumo de energia cai à medida que a carga de trabalho de TI cai, como mostrado na figura 14.

[0100] Esta relação demonstra que não é útil expressar a eficiência dos grupos de dispositivos de TI em um centro de dados sem ter em conta a carga de trabalho aplicada sobre cada um dos grupos e a eficiência resultante. A complexidade desta avaliação é agravada pela resposta do centro de dados para as cargas elétricas de TI.

Contexto de carga elétrica

[0101] Como mostrado na discussão anterior, a resposta do centro de dados à carga eléctrica de TI não é linear, por conseguinte, antes que possamos simular o impacto sobre o centro de dados de um dispositivo de TI específico ou grupo de dispositivos é necessário para aplicar a carga eléctrica e térmica integral do outro equipamento de TI no centro de dados.

[0102] Isto é conseguido no simulador usando o nó da carga eléctrica de TI 910 que foi usado na simulação DCIE para aplicar carga eléctrica e térmica para o centro de dados (figura 15).

Dispositivo de TI e carga eléctrica de TI aplicada ao centro de dados

[0103] Os nós de simulador para o dispositivo de TI e a carga eléctrica de TI estão conectados às cadeias de

simulação de energia e térmica já estabelecidas para a simulação do centro de dados, como mostrado em 16.

Sensitividade térmica de dispositivo de TI

[0104] O simulador é capaz de lidar com modelos de dispositivos de TI que expressam funções de fluxo de energia ou refrigerante (normalmente ar) como um fator de uma carga de trabalho aplicada e da temperatura do refrigerante de alimentação.

Alocação de energia

[0105] Uma parte fundamental da operação do simulador é o mecanismo de alocação desenvolvido para representar efetivamente o centro de dados.

[0106] As abordagens atuais para levar em conta energia e 'métricas de carga retroativa' são simplistas e frequentemente ineficazes. Estas abordagens, tipicamente, usam:

- O consumo de força (energia) de um dispositivo
- O espaço ou energia e capacidade de resfriamento alocada a um dispositivo, rack, área ou ambiente como proxies para o consumo de energia do dispositivo e custo.

[0107] Estes são ineficazes e criam incentivos perversos conduzindo a comportamento sub ideal. Esta incapacidade de compreender de forma efetiva e representar custos pode ter impactos significativos sobre o desempenho geral de um centro de dados, totalmente possuído ou provedor de serviços.

[0108] O simulador é capaz de determinar o compartilhamento da carga e da capacidade alocada em cada nó da cadeia, permitindo a alocação de custos muito mais eficaz do que as abordagens simplistas atualmente em uso. Por exemplo, se a um servidor são alocados 100W e é alimentado

por uma fonte de alimentação ininterrupta com perdas de 10%, essa alocação pode se tornar 110W no transformador principal que alimenta o servidor. A mesma fatoração de perdas ocorre para energia extraída.

[0109] Esta análise de nível de sistema de alocação e de consumo permite maior detalhe e precisão na alocação de custos do que os métodos tradicionais.

[0110] Um conceito central do simulador é que ele entende e implementa tanto os custos fixos quanto os variáveis (energia e financeiro) e como nesses incorrem pelos dispositivos lógicos ou físicos dentro do centro de dados. O consumo de energia fixo e os custos financeiros, como o capital amortizado, e o consumo de energia fixo são alocados para dispositivos com base em sua alocação de recursos do centro de dados. O consumo de energia variável e custos financeiros, tais como o consumo de energia, são alocados para dispositivos com base em seu consumo de recursos.

[0111] O simulador de centro de dados tem estabelecido e implementado um conjunto de regras básicas para alocar uma parte equitativa e razoável do consumo de energia do centro de dados para os dispositivos (Ver o whitepaper de BCS *"Data centre energy efficiency metrics"* para uma explicação detalhada de energia fixa e variável e alocação de custo, <http://www.bcs.org/datacentreenergy>, o conteúdo do qual é aqui incorporado por referência) de TI simulados. Um princípio básico dessas regras é acumular cargas e custos fixos e variáveis separadamente. Esses custos de energia e financeiros fixos e proporcionais para o centro de dados são diretamente análogos aos conceitos normais de finanças de custo fixo e variável, e vamos usá-los de uma forma semelhante para compreender o comportamento real dos

custos e energia do centro de dados e como isso afeta o custo e utilização de energia dos equipamentos de TI operacional dentro do centro de dados.

Fixo e Variável

[0112] A simulação da infraestrutura do centro de dados tem demonstrado o impacto na eficiência da carga fixa, que o centro de dados exhibe em qualquer combinação de temperatura externa e implantação de infraestrutura. Essa sobrecarga fixa significa que a medição de todos os dispositivos de TI e a aplicação de uma relação entre a potência de TI para a potência geral da instalação falha em fatorar adequadamente esse custo fixo de energia e não é útil como um mecanismo de alocação ou métrica de cobrança retroativa.

[0113] Na alocação do custo de um prédio de escritórios, o custo do aluguel e serviço de um *deskpace* seriam seria acumulado, independentemente se o empregado usou o *deskpace* ou do trabalho que realizou, esse é compartilhamento do custo fixo. Os custos variáveis poderiam incluir a energia usada por um PC *desktop* e a conta do telefone incorrida pelo empregado, enquanto trabalhando no *deskpace*.

[0114] Em um centro de dados quando um dispositivo de TI é instalado, a capacidade de energia e refrigeração é alocada a esse dispositivo. Na maioria dos centros de dados, uma vez que esta capacidade é provisionada, ela não pode ser utilizada para outro dispositivo. Uma vez que toda a capacidade disponível do centro de dados esteja alocada, dispositivos de TI não podem mais ser instalados. O simulador usa essa energia provisionada para determinar o compartilhamento do uso da energia fixa do centro de dados,

que será alocada para esse dispositivo de TI. Isto é realizado em cada etapa da simulação, tendo em conta o estado completo do centro de dados e a temperatura externa.

[0115] O simulador também é capaz de determinar o uso de energia marginal do centro de dados devido ao uso de energia do dispositivo de TI, isso inclui tanto a energia usada pelo próprio dispositivo de TI quanto a energia adicional utilizada tanto pela infraestrutura energética e térmica para distribuir essa força para o dispositivo e remover o calor resultante. Como antes, isso inclui iteração de enlaces, como as unidades CRAC alimentadas de UPS.

[0116] Como ilustrado na figura 17, a soma do consumo de energia fixo e variável fornece uma representação justa e razoável do custo de energia total do dispositivo de TI no centro de dados.

[0117] A figura 18 mostra nós adicionais no simulador para analisar o provisionamento de força e alocação de energia para determinar o uso de energia pelo dispositivo de TI, com base nas opções de simulação escolhidas. Esses nós adicionais são um nó de provisionamento de força 1810 e um nó de alocação de energia 1820 que calculam um uso de energia de dispositivo de TI 1830 para dadas opções de simulação 1840.

Alocação de custos

[0118] Para fornecer saída útil, o simulador do centro de dados relata o consumo de energia e o custo para cada cenário. Para determinar o custo de cada cenário, o simulador inclui um número arbitrário de custos, inicialmente classificados como capital e de manutenção para cada nó e o custo de recursos, tais como energia para o centro de dados.

[0119] A figura 19 mostra um desenvolvimento adicional da estrutura do simulador para incluir nós para calcular a uma alocação dos custos de energia, nó e instalações, tais como espaço para dar os custos de dispositivos de TI. Especificamente, um nó de mecanismo de alocação 1910 (que tem uma entrada de custos de capital da instalação nó 1915) e nó de custos da instalação 1920, em combinação com um nó de custos de energia de dispositivo 1930 (que tem uma entrada de custos de energia 1940), são utilizados para calcular os custos de dispositivos de TI 1950.

[0120] O simulador é capaz de modelar os custos do centro de dados em detalhes consideráveis, utilizando a mesma estrutura de base de nós, conexões e os dados de desempenho como na análise de energia. Isso inclui provisão repetida de custos parciais onde existem enlaces de realimentação.

[0121] O simulador é capaz de assegurar que todo o custo injetado está alocado e contabilizado.

[0122] Expressões arbitrárias de características de custos operacionais e de capital podem ser aplicadas a qualquer nó no centro de dados; estes podem ser relacionados com a configuração do dispositivo ou as cargas aplicadas.

[0123] O simulador é capaz de acumular custos para cada nó ou carga aplicada através do sistema simulado proporcionando, assim, uma análise detalhada e precisa do custo de distribuição de todo ou de parte do Serviço do centro de dados.

Custo de dispositivo de TI

[0124] O custo de capital e o custo anual de manutenção do dispositivo de TI são inseridos como parâmetros do cenário. Os custos de capital são amortizados durante a

vida útil do dispositivo especificado ou período de depreciação, enquanto os custos de manutenção são acumulados durante toda a duração do cenário em sua frequência de ocorrência.

Custos de capital da instalação

[0125] O custo de capital da instalação mecânica e elétrica do centro de dados pode ser representado como custos de capital e manutenção por nó. Estes são amortizados ao longo do tempo de utilização do projeto ou período de depreciação do nó para fornecer um custo sensível ao tempo por unidade alocada de infraestrutura e, em seguida, acumulado ao longo do tempo de simulação com base na quantidade provisionada para os dispositivos de TI.

Custos de energia

[0126] Os dados de custo de energia são utilizados por hora com os dados do dispositivo e da energia total para fornecer saída do custo de energia para o dispositivo e a instalação em geral.

Outros custos

[0127] O simulador pode usar o mecanismo de alocação de custos do nível de nó tanto na cadeia de energia quanto nos nós de não energia para alocar outros custos, como custo da água e do espaço alugados:

- outros custos custeados diretamente através da alocação direta desses custos, por exemplo, utilização do espaço;
- outros custos fixos e variáveis custeados indiretamente através da alocação de outros custos para os dispositivos da cadeia de energia que consomem outras unidades (como a ocupação do espaço) que é então alocado

para as cargas de TI com base na sua utilização da cadeia energética, por exemplo, espaço, consumo de água.

Compensação para utilização

[0128] O simulador é capaz de variar a alocação e o acúmulo de energia e custo para um dispositivo com base nas preferências de contabilidade do usuário e o nível de utilização do centro de dados. Por exemplo, se o custo de capital amortizado da infraestrutura do centro de dados é de £ 0,10 por Watt mês e a um servidor é alocado 1kW então seria acumular £100 por mês em custos de infraestrutura amortizado. Se a capacidade do centro de dados é de apenas 50% de alocação, isto é, está parcialmente vazio, isto pode ainda ser uma alocação válida para o usuário acompanhada de 50% do custo de capital amortizado mostrada como não alocado. Alternativamente, o simulador pode compensar a utilização da capacidade do centro de dados, nesse momento no tempo, em 50%, ao servidor caberia £200 para aquele mês (este acúmulo pode ser uma função dependente do tempo). A compensação de utilização pode também ser baseada em qualquer utilização arbitrária da instalação, tal como a utilização média calculada ou projetada durante um determinado período de tempo (por exemplo, um período de 5 anos).

[0129] Mais especificamente, o simulador é capaz de alocar a energia e os custos do dispositivo de TI da maneira descrita acima.

[0130] Para cada nó onde a capacidade é expressa, o simulador pode aplicar um custo para cada carga servida com base na utilização total resultante dessa capacidade.

Tempo em simulações de TI

[0131] Embora as simulações do centro de dados ocorram em etapas através de uma faixa de cargas elétricas

aplicadas e temperaturas externas, a simulação de TI ocorre em etapas através do tempo. Isto permite ao simulador assegurar que o(s) valor(es) correto(s) para cada uma das variáveis externas é(são) aplicado(s) a cada etapa de tempo. Isto permite ao simulador fornecer uma análise útil do impacto de dispositivos, tais como economizadores de resfriamento que têm maior probabilidade de estar trabalhando durante a noite, quando a carga de trabalho de TI e, assim, o consumo de energia pode ser reduzido e o custo da energia no seu mínimo; inversamente, no meio do dia, em que a temperatura externa é mais elevada, a carga de trabalho de TI e o consumo de energia mais altos e o custo da energia alto, o economizador pode não estar fornecendo qualquer benefício.

Etapas de tempo

[0132] As unidades básicas de tempo utilizado dentro do simulador são o dia e a hora, o simulador por etapas padrão ao longo de 24 horas para cada dia, utilizando os valores apropriados a partir dos dados fornecidos e avalia o estado do centro de dados, o consumo de energia e os custos para a hora. Os custos e o consumo de energia das horas são somados para fornecer um conjunto de valores diários.

Meses de simulação

[0133] As unidades padrão de tempo para uma simulação são meses, o simulador irá simular um dia inteiro de cada tipo especificado para cada mês da simulação e multiplicar os valores para atingir um custo total para o mês. Vários tipos de dia podem ser especificados, por exemplo, para levar em conta a variabilidade na carga de trabalho do usuário entre dias úteis e finais de semana.

Dados que variam com o tempo

[0134] Para interagir com sucesso através de uma simulação, o simulador requer dados que são uma variante de tempo, que pode incluir:

<u>Tipo de dados</u>	<u>Varia mensalmente</u>	<u>Varia de hora em hora</u>
Temperatura externa	Sim	Sim
Custo da energia	Sim	Sim
Capacidade total do centro de dados	Sim	
Provisionamento de dispositivo M&E	Sim	
Iluminação e outras cargas	Sim	Sim
Energia provisionada de TI	Sim	
Carga de trabalho de TI	Sim	Sim
Outra carga elétrica de TI	Sim	Sim

Tabela 3 – Dados que variam com o tempo

ESTRUTURA DE SOFTWARE

[0135] Concretizações do simulador são implementadas em *software* executável, por exemplo, em um computador para fins gerais. Em algumas concretizações, o *software* é executado em um computador servidor acessível remotamente através de uma rede via uma interface de navegador. Por exemplo, o simulador pode executar em um servidor acessível de um dispositivo cliente através da Internet a partir do uso de um aplicativo de navegador de Internet instalado no dispositivo cliente.

[0136] A estrutura de *software* de uma concretização é descrita abaixo com referência às figuras 20, 21 e 22.

[0137] O *software* pode ser amplamente dividido em cinco componentes principais, o simulador de núcleo, os formatos de dados, o módulo de gráficos, a interface de

usuário da Web e uma interface alternativa de acesso do usuário.

Interface de Usuário

[0138] Uma interface de usuário da web pode ser usada para permitir o uso da ferramenta sem a necessidade de baixar e instalar o software em uma máquina do usuário. Esta interface de usuário também fornece um mecanismo para que os usuários relatem uma economia de carbono implementada por relatar os dois cenários que descrevem a economia e a assistência prestada pela ferramenta.

Módulos de gráficos & visualização

[0139] Para fornecer gráficos visualmente mais atraente dos dados de saída do simulador do usuário da web, a interface de um módulo de gráficos e visualização é usado para fornecer os gráficos característicos de barras empilhadas e representações plotadas de superfície dos dados (como visto nas figuras 5 e 23 a 26 por exemplo). Outras formas de visualização podem ser utilizadas, tais como 'mostradores' que representam, por exemplo, valores reais em comparação com os valores do projeto e/ou valores nominais.

Entrada/ saída de dados

[0140] O simulador utiliza um conjunto de formatos de dados para entrada e saída. Há um conjunto relativamente pequeno de formatos de dados que descrevem o desempenho específico de cada dispositivo para o nó do simulador representando cada dispositivo, um formato para a saída de simulação e um formato para a descrição do *layout* do centro de dados. Estes são fornecidos ao simulador em esquemas de XML definidos visto que esse é um padrão independente e portátil de plataforma amplamente reconhecida.

Interface XML

[0141] Os formatos de dados XML são suportados por interfaces de entrada/ saída e intérpretes.

Integração com sistemas de bancos de dados

[0142] As interfaces de simulador, tanto XML quanto RPC mais direto, permitem a integração com outros sistemas para produzir um valor combinado otimizado, (ver figura 21b), por exemplo.

. Integração com sistemas de catalogação e monitoramento de serviços de TI para fornecer dados para o simulador acerca dos dispositivos e cargas de trabalho envolvidos em um serviço ou atividade tachável que o simulador pode então fazer levantamento de custos e retornar dados processados.

. Integração com bancos de dados de avaliação de equipamento de TI a fim de proporcionar dados para o simulador acerca dos dispositivos físicos instalados.

Integração com sistemas financeiros ou de faturamento

[0143] A capacidade do simulador para alocar custos verdadeiros e consumo de recursos para cargas, Serviços ou dispositivos no centro de dados lhe permite processar dados relativos ao consumo de recursos de cargas identificadas, Serviços, dispositivos, grupos ou clientes no(s) centro(s) de dados nas alocações de recursos altamente granulares de custos que podem ser usadas para apoiar as atividades de cobrança ou estorno.

Simulador**Mecanismo de núcleo de**

[0144] O *Open Source Core Engine* é o ambiente subjacente que permite a simulação. Este implementa o

ambiente funcional dentro do qual os nós dos componentes do centro de dados operam.

Componentes do centro de dados

[0145] Os Componentes do Centro de Dados são um conjunto de nós que representam os componentes individuais do centro de dados na simulação.

API de simulação e resultados

[0146] A API de Simulação e Resultados proporciona a capacidade de preparar, executar e coletar os resultados de uma simulação. As Funções Modelo auxiliam no estabelecimento do modelo de simulação. As Funções de Análise fazem a iteração através dos parâmetros da simulação, variando as variáveis externas, tais como carga de trabalho e temperatura ambiente e ordenando os resultados.

Interface alternativa de usuário (figura 22)

[0147] Como uma alternativa para a interface do usuário da web, mas ainda permitindo que os usuários interajam e recebam os resultados do simulador de uma forma eficaz e previsível, uma interface XML pode ser fornecida para tomar o lugar das chamadas feitas pela UI da web.

Entrada/ saída de dados

[0148] Um conjunto completo de formatos XML de entrada e saída de dados podem ser disponibilizado. Isso pode tomar o lugar, por exemplo, de dados inseridos de formulário na interface de usuário da Web. A interface de entrada/ saída é expandida a partir da versão UI da web para lidar com todos esses formatos. Pode ser um superconjunto da capacidade de UI da web.

Dados de construtor

[0149] O *layout* lógico do centro de dados dentro da simulação é representado por um construtor. Este conduz as

informações necessárias para criar e conectar os componentes do Centro de Dados dentro do mecanismo de núcleo para a simulação. Esse é um processo complexo, que é suportado por um formato de dados XML específico que representa o *layout*. Esse formato de dados é interpretado pelo Intérprete de Metalinguagem de XML. O simulador pode empregar um *layout* lógico simplificado da instalação (ou seja, não incorporando toda a complexidade da instalação M&E completa). De fato, a simulação pode ser implementada com qualquer coisa a partir de um único nó para cada componente do centro de dados dependente dos requisitos para a simulação.

APLICAÇÕES DO SIMULADOR

[0150] O simulador pode ser colocado em uso em muitas e diversas aplicações, alguns exemplos das quais já serão evidentes a partir da discussão acima. Algumas outras possíveis aplicações são indicadas abaixo.

Determinação de Impacto da Energia e do Custo de dispositivos lógicos

[0151] O simulador é capaz, através de simulação de nível de sistema, de determinar o impacto energético ou do custo de dispositivos lógicos no centro de dados, bem como físico. Por exemplo, não é possível instalar um medidor de energia para um servidor virtual, mas é possível simular a carga sobre o servidor físico para determinar o impacto do servidor virtual e, assim, o impacto acumulado no nível do centro de dados.

What-if Analysis (Análise de Variações Hipotéticas)

[0152] O simulador é capaz de realizar uma faixa muito ampla de *what-if* analysis.

[0153] Os dados de saída dessas 'what-if simulations' podem ser usados para determinar muitas coisas, incluindo, por exemplo:

- Retornos prováveis sobre os investimentos de capital
- Custos de prestação de serviços e sua relação com a receita do serviço
- Sensibilidade à fatores externos, tais como o custo da energia
- Estratégias ótimas para a construção da capacidade e preços do cliente
- Impacto de movimento de uma carga de trabalho para outro dispositivo de TI ou outro centro de data
- Impacto de variações de restrições de energia aplicadas a um dispositivo no centro de dados.

Análise em nível de sistema da capacidade

[0154] O simulador é capaz de carregar eficazmente os desenhos de teste do centro de dados antes ou após a construção para validar a capacidade do dispositivo provisionado e real do centro de dados sob uma faixa de modos operacionais, incluindo a redundância do sistema de teste de modos operacionais degradados.

[0155] Isso pode ser usado para analisar os cenários de piores casos e fornecer curvas de capacidade contra outras variáveis para o centro de dados. A instalação pode muito bem ser capaz de suportar uma carga elétrica de TI maior em uma temperatura externa menor do que sua classificação de design. Dependendo da abordagem operacional, pode ser adequado para o operador explorar esta capacidade.

Suporte de Decisão Operacional

[0156] O simulador é bem adequado para suporte à decisão operacional em situações como, para dar alguns dos muitos exemplos possíveis:

- Desligar ou não equipamentos da instalação, cuja capacidade não é atualmente exigida.

- Onde e quando colocar um dispositivo (ou dispositivos) ou carga de trabalho em um centro de dados ou grupo de centros de dados (por exemplo, centros de dados geograficamente distantes)

- Mover ou não cargas entre os centros de dados geograficamente distribuídos.

- Qual o(s) preço(s) para aceitar serviços dependentes do custo marginal da distribuição.

Faturamento

[0157] O nível de análise proporcionado pelo simulador permite a alocação efetiva e o estorno da carga de trabalho, do dispositivo, do grupo de dispositivos, da área ou custos de centers de dados inteiros.

Análise de Múltiplas Partes

[0158] O simulador facilita a análise de energia do centro de dados e desempenho de custo com mascaramento de dados detalhados, onde existem várias partes envolvidas. Por exemplo, um operador de centro de dados prestando serviço para um operador de equipamento de TI. Neste caso, o simulador pode ser usado para determinar o custo financeiro e as receitas para o operador do centro de dados, enquanto apenas mostrando ao operador do equipamento de TI a receita e a energia de utilidade alocada para fins de contabilidade de carbono. Também se tornou muito fácil apresentar e permitir a manutenção de diferentes conjuntos de dados para diferentes funções dentro da mesma organização, por exemplo,

informações financeiras para um departamento de contas, informações de desempenho e parâmetros de TI para uma informação de desempenho e parâmetros de equipamentos de M & E e grupo de TI para um departamento de instalações de construção.

Avaliação de Estágio Inicial de Tecnologia ou Produtos

[0159] O simulador pode ser usado para avaliar a tecnologia de estágio inicial em uma fase de pré-protótipo. Uma série de cenários de desenvolvimento de tecnologia pode ser testada contra um número de cenários de operação de centros de dados para avaliar os benefícios globais disponíveis da tecnologia. Isto permite uma aceleração considerável de tempo e custo da tecnologia através do descarte de opções que haviam sido consideradas promissoras antes da análise de níveis de sistemas.

Comparação de Cenários

[0160] Tendo criado um centro de dados e executado uma simulação de TI em que o centro de dados do simulador pode ser usado para realizar uma comparação de cenários.

[0161] Um exemplo dessa comparação, para ilustrar o princípio, é uma comparação pré/pós comparação de virtualização. Ao virtualizar, há frequentemente um requisito para prever o caso de negócios para justificar a mudança na política ou no custo de capital. Isto pode ser difícil, pois a relação de consolidação não é um proxy eficiente para a redução de custos, devido a:

- Aumento do custo de capital dos servidores de especificações mais elevadas utilizados para virtualização;
- Mais alto por consumo de energia de servidor dos servidores de especificações superiores;

- Mais alto por consumo de energia de servidor dos servidores devido às cargas de trabalho mais elevadas, particularmente quando se comparam os dispositivos compatíveis novos, Energy Star;

- Mais alto por custo de capital amortizado de servidor da energia do centro de dados e infraestrutura de refrigeração;

- Possíveis mudanças no custo de energia elétrica; e

- Possíveis mudanças na utilização do centro de dados.

[0162] O simulador de centro de dados é capaz de levar em conta todas essas variáveis e fornecer uma previsão efetiva dos benefícios de um programa de virtualização.

[0163] A primeira etapa na comparação é criar um pré-cenário de virtualização como uma linha de base para comparação. Neste exemplo, a empresa pretende implantar mais 100 servidores de commodities 1U sob um aplicativo existente per política do servidor. A comparação será por um período de 4 anos.

[0164] A simulação pode então ser executada e as saídas de custo e energia para a simulação de quatro anos visualizadas. A figura 23 mostra os resultados exemplificativos.

[0165] A próxima etapa é criar o cenário de pós virtualização para a comparação de custos e energia. Nossa consolidação será a partir dos 100 servidores de commodities 1U até 15 servidores de commodities 4U que são de maior especificação e custo.

[0166] A simulação pode então ser executada novamente e as saídas de custo e energia para a simulação de 4 anos, desta vez com base no cenário de pós virtualização

visualizado. A figura 24 mostra os resultados exemplificativos.

[0167] A redução substancial do consumo global de custos e energia está clara de uma comparação dos gráficos de pré-virtualização na figura 23 com os resultados de pós virtualização na figura 24.

[0168] Embora esteja claro que o cenário de pós virtualização oferece economia em comparação com o cenário de pré-virtualização é útil para ser capaz de comparar diretamente o custo e consumo de energia dos dois cenários. A figura 25 mostra uma comparação lado a lado do custo global de dispositivo de TI e uso de energia utilização de um dispositivo geral de TI (s). Esta comparação mostra mais diretamente a diferença nos gráficos de saídas dos cenários.

[0169] As comparações descritas até agora têm sido a energia e os custos alocados para o dispositivo de TI. No entanto, uma comparação chave para a criação de um caso de negócios é o impacto sobre o uso global de energia e os custos do centro de dados.

[0170] Os gráficos na figura 26 mostram os custos gerais e uso de energia de todo o centro de dados durante o período de simulação. O Custo de Capital Amortizado do Centro de Dados é o custo amortizado total para a instalação, em vez de a parte alocada aos dispositivos de TI. O outro segmento de energia no gráfico de barras representa todo o uso de energia do centro de dados não alocada aos dispositivos de TI simulados.

[0171] Embora a invenção tenha sido descrita em conjunto com concretizações exemplificativas, muitas modificações e variações equivalentes serão evidentes para os versados na técnica, quando dada esta divulgação. Por

consequente, as concretizações exemplificativas da invenção apresentada acima são consideradas ilustrativas e não limitativas. Várias modificações nas concretizações descritas podem ser feitas sem afastamento do espírito e do escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de simulação de computador para simular um centro de dados, o sistema de simulação **caracterizado pelo** fato de que compreende:

um servidor;

uma representação lógica de centro de dados, incluindo:

uma pluralidade de nós que representam dispositivos no centro de dados, referida pluralidade de nós compreendendo pelo menos um nó representando um ou mais dispositivos TI, pelo menos um nó representando um elemento de uma infraestrutura de entrega de potência elétrica do centro de dados, e pelo menos um nó representando um elemento de uma infraestrutura de remoção de calor mecânica do centro de dados, cada nó compreendendo:

- uma primeira entrada para a carga aplicada;
- uma primeira saída para a carga total a partir do nó;
- uma segunda saída para perdas;
- uma função para calcular as saídas dos insumos;
- uma primeira pluralidade de conexões entre pelo menos alguns de nós, cada uma da referida pluralidade de conexões conectando uma saída de um nó para a primeira entrada do outro nó e representando a energia elétrica puxada por um dispositivo no centro de dados de outro dispositivo no centro de dados;

- uma segunda pluralidade de conexões entre pelo menos alguns de nós, cada um da referida segunda pluralidade de conexões conectando uma saída de um nó com a primeira entrada

de outro nó e representando uma carga térmica aplicada por um dispositivo no centro de dados para outro dispositivo no centro de dados; e

um quadro simulador operável para executar uma simulação ao aplicar de forma sequencial uma série de estados de entradas para o simulador e gravar uma saída do simulador após a aplicação de cada estado;

em que a saída do simulador determina uma alocação ou atribuição de uma parcela da energia geral do centro de dados para cada nó individual, e em que a saída do simulador aloca um custo individualmente para cada nó que inclui energia, capital e custos operacionais, em que os custos de capital incluem custos de capital de *hardware* e instalação, e em que os custos operacionais incluem custos operacionais da infraestrutura do data center e custos de manutenção de hardware com base em uma parte utilizada ou alocada de capacidade.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que cada entrada na série de entradas é composta por uma carga elétrica aplicada e uma temperatura externa e a saída do simulador compreende um valor de eficiência do centro de dados.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que cada entrada na série de entradas compreende um tempo.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que cada entrada na série de

entradas inclui dados de operação para pelo menos alguns dos nós, pelo menos alguns dos nós, cada um compreendendo pelo menos uma entrada adicional para os dados operacionais.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo** fato de que os dados operacionais compreendem dados de desempenho para o dispositivo representado pelo nó.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo** fato de que os dados operacionais compreendem os dados que representam pelo menos um parâmetro ambiental.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a saída do simulador compreende uma alocação do consumo de energia do centro de dados para cada um dos nós.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o custo alocado a um nó inclui um custo acumulado para o custo de capital de *hardware* e instalação.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o custo alocado a um nó inclui um custo acumulado para o custo de manutenção de hardware.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o custo alocado ao capital e custos operacionais da infraestrutura do centro de dados com base na porção utilizada da capacidade.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 9,

caracterizado pelo fato de que o custo alocado a um nó inclui um custo acumulado para a energia perdida em perdas variáveis na infraestrutura de centro de dados devido ao poder de refrigeração entregue para o dispositivo representado pelo nó.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a entrada de carga aplicada por pelo menos um dos ditos nós é uma carga de trabalho de TI aplicada.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos um dos nós é um nó de dispositivo que representa vários dispositivos do mesmo tipo e função operando como um grupo.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a dita função para calcular as saídas do nó das entradas do nó é selecionada do grupo que consiste de: funções usando pontos de dados para a perda de eficiência ou por uma ou mais variáveis; funções parametrizadas para a perda de eficiência ou por uma ou mais variáveis; funções que simulam sistemas de controle para dispositivos no centro de dados; e funções de distribuição ou transformação.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que os nós passam dados usando um formato de dados extensível.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo** fato de que os dados passados entre os nós

compreendem uma série de categorias de custo.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo** fato de que os dados passados entre os nós compreendem a energia passada como um vetor que representa os harmônicos do fator de potência.

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo** fato de que os dados passados entre os nós são compostos por valores de umidade absoluta ou relativa, massa de água ou a taxa de massa de água.

PERCURSO DE ENTREGA DE ENERGIA DE TI E PERDAS NO CENTRO DE DADOS

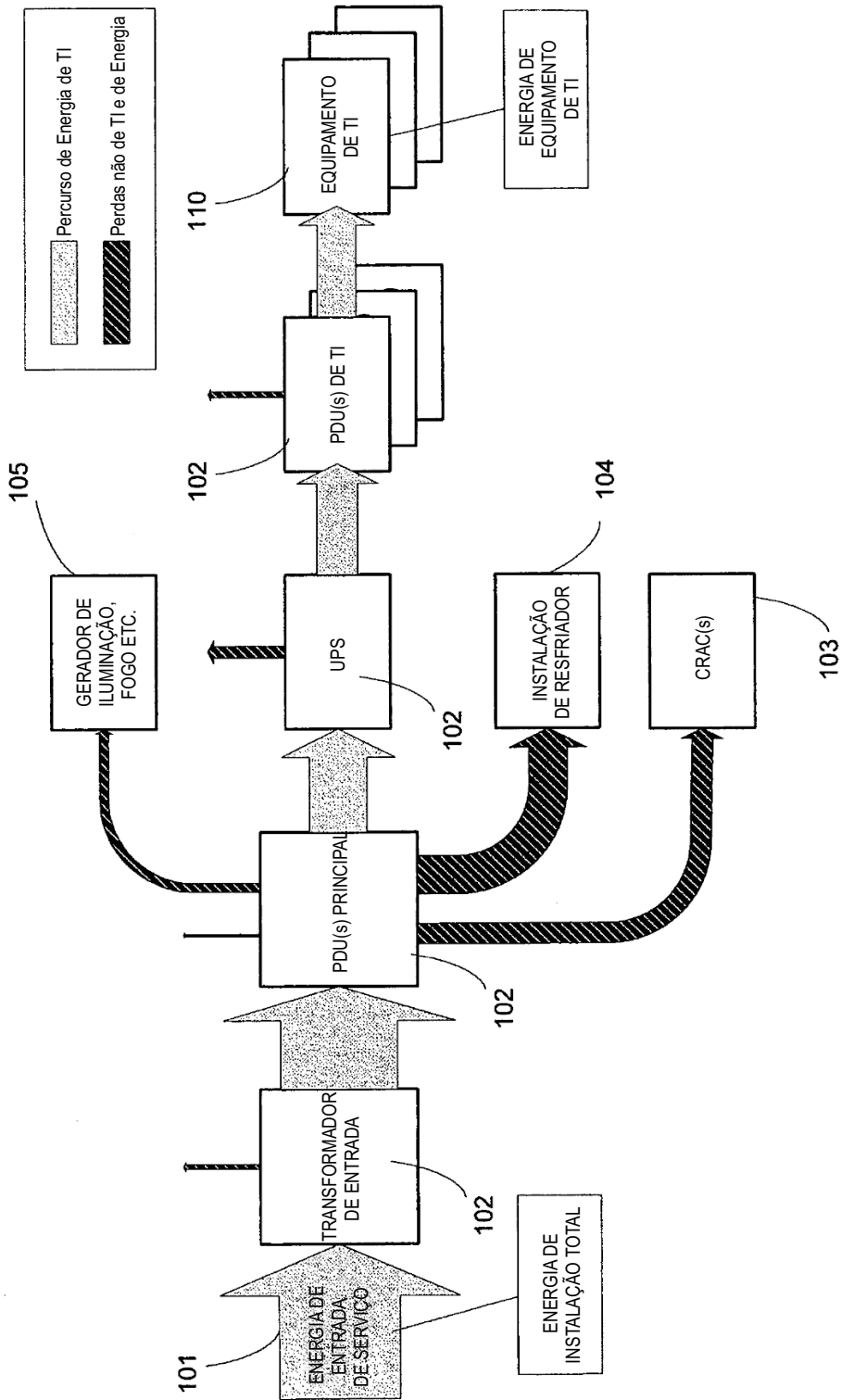


FIGURA 1

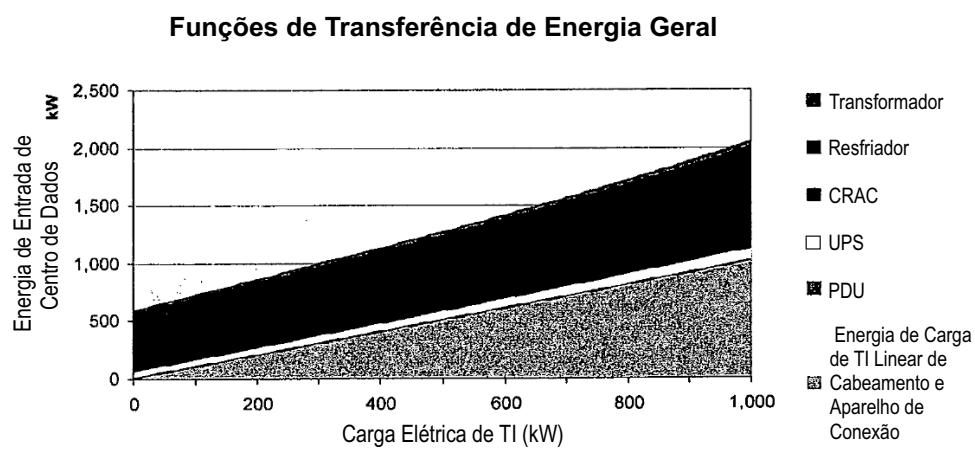


FIGURA 2

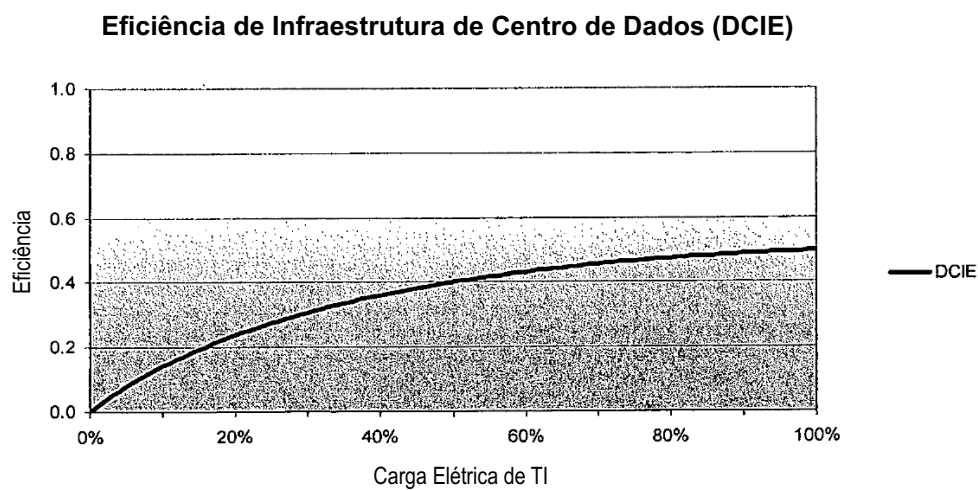


FIGURA 3

Eficiência de Centro de Dados (DCIE) Sob Provisionamento Modular

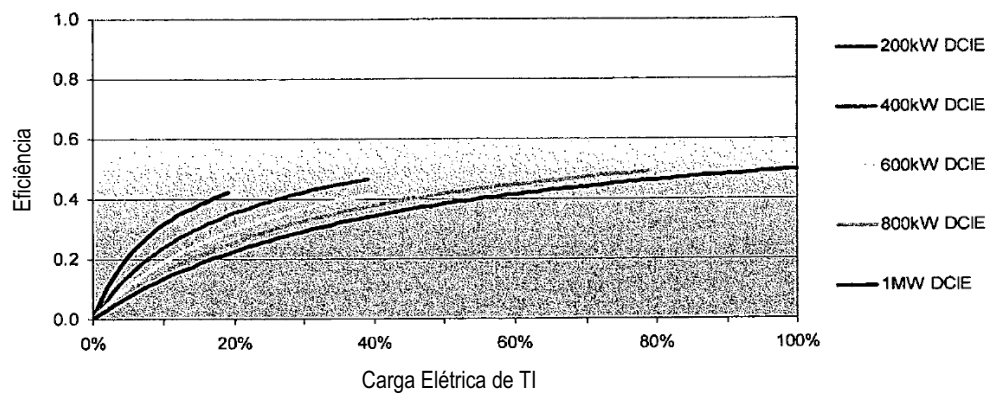


FIGURA 4

DCIE por Carga Elétrica de TI e Temperatura Externa

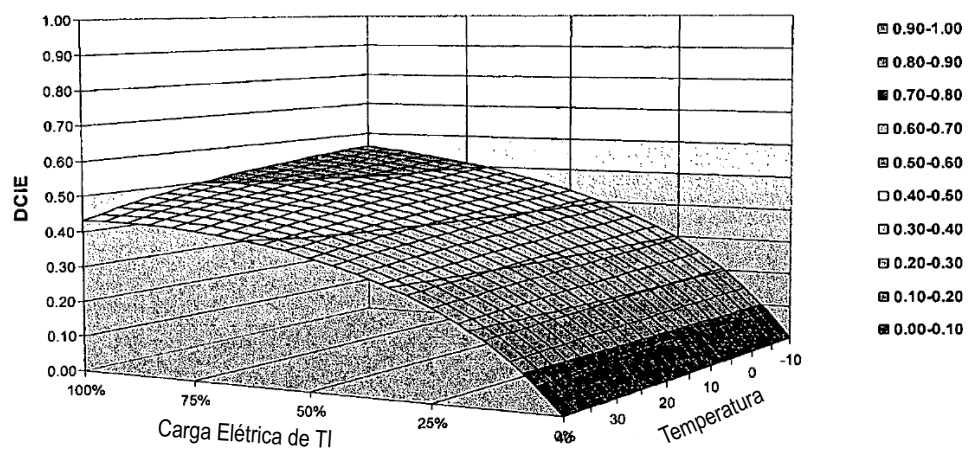


FIGURA 5

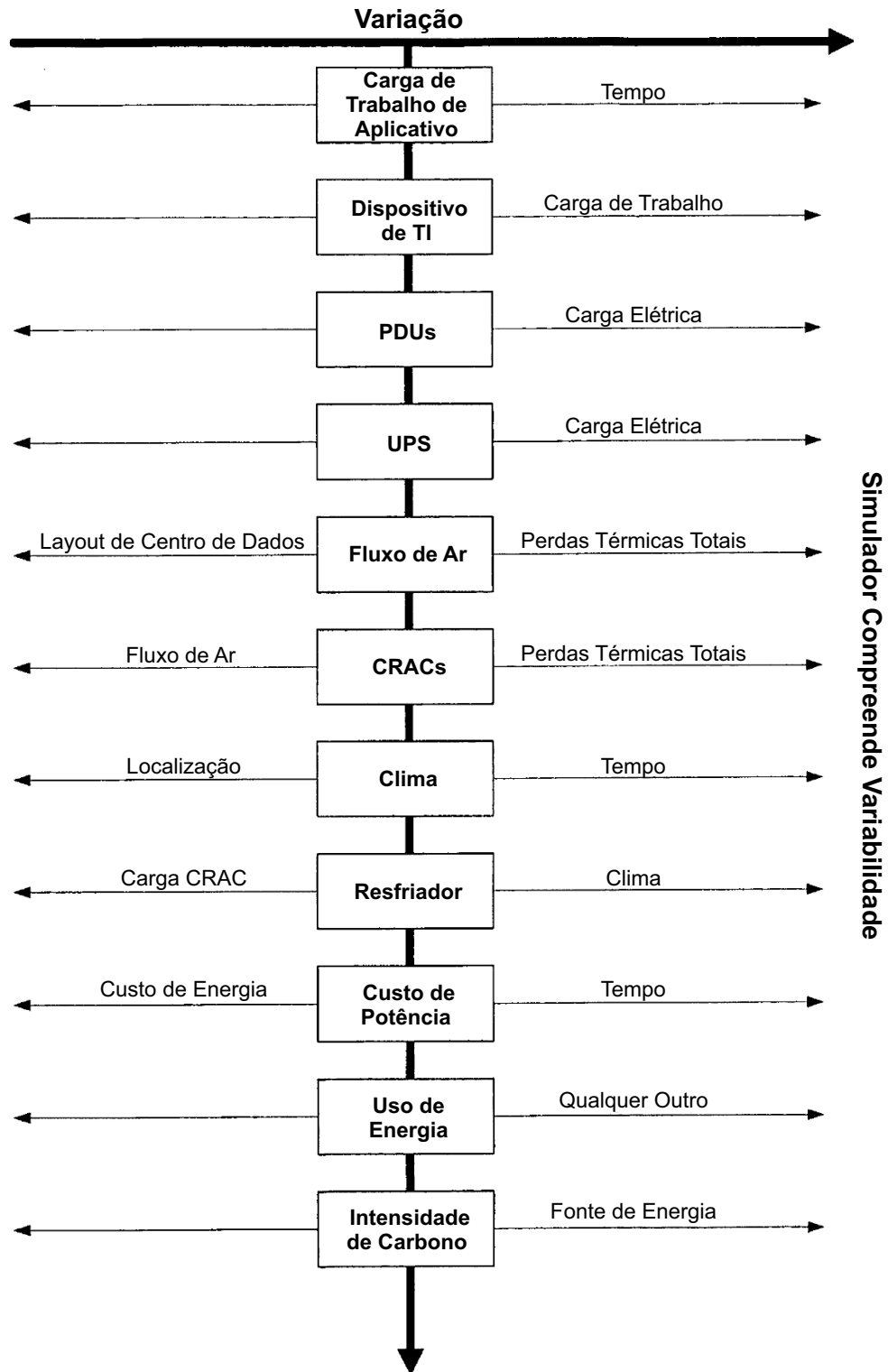
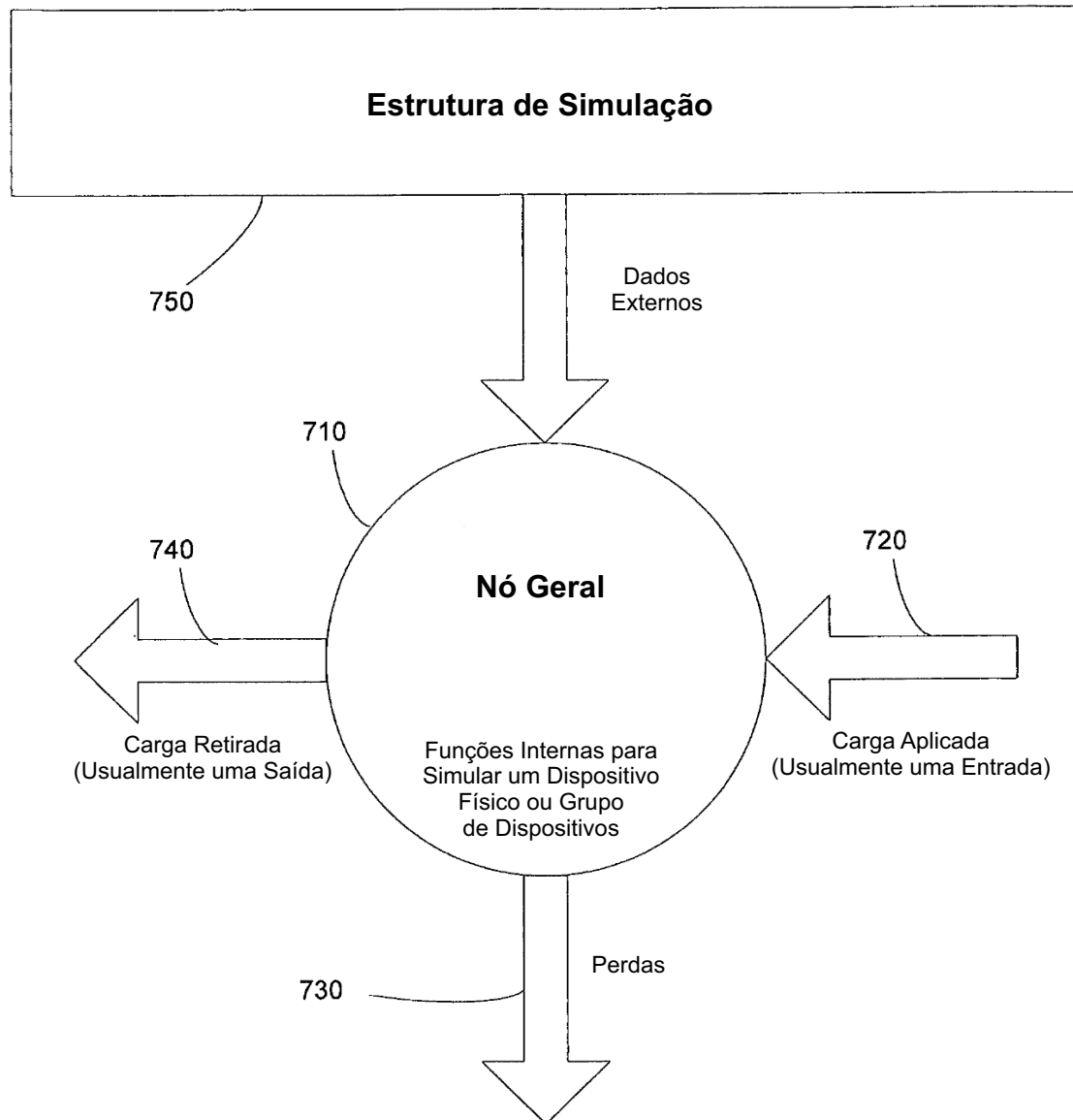


FIGURA 6

**FIGURA 7**

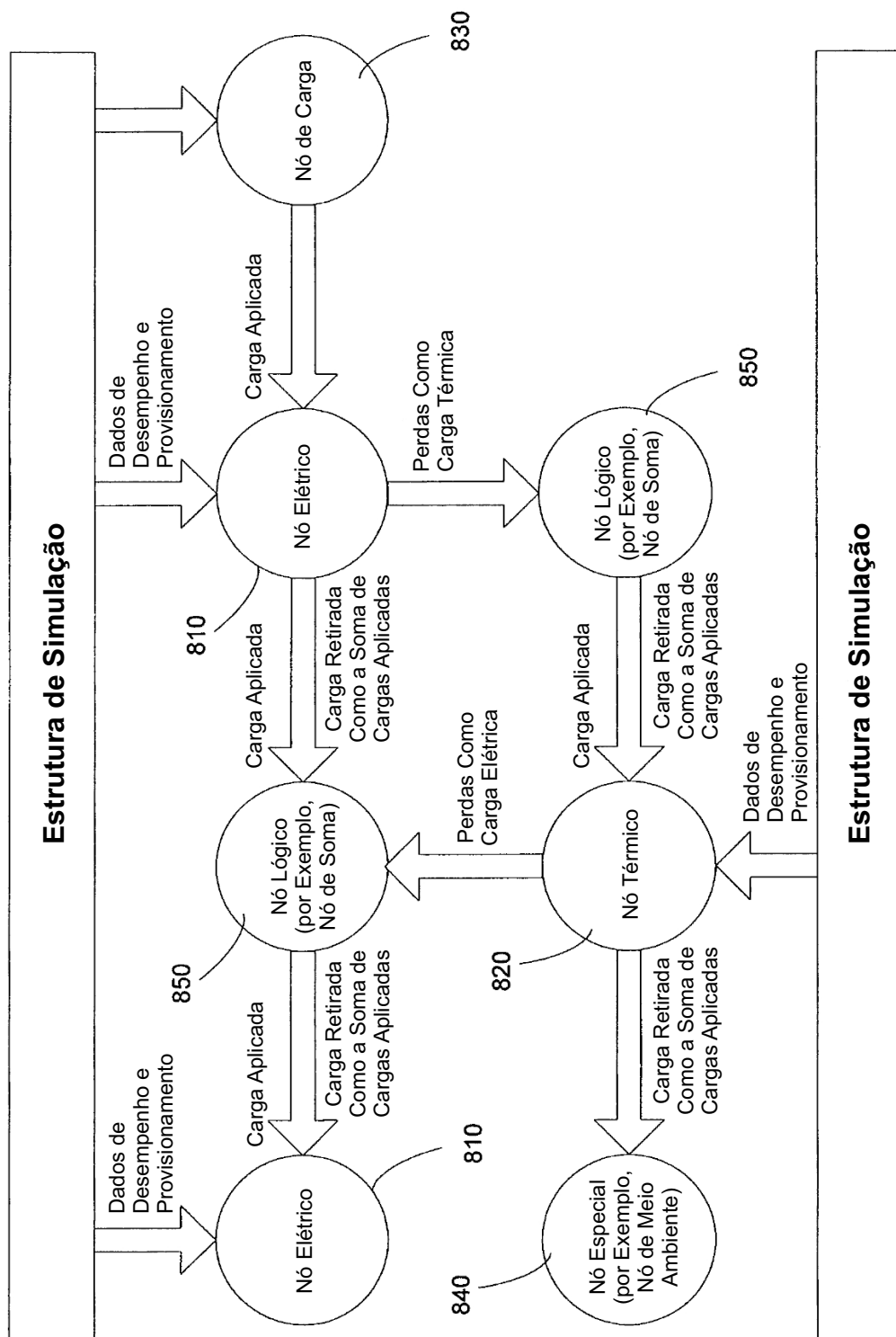
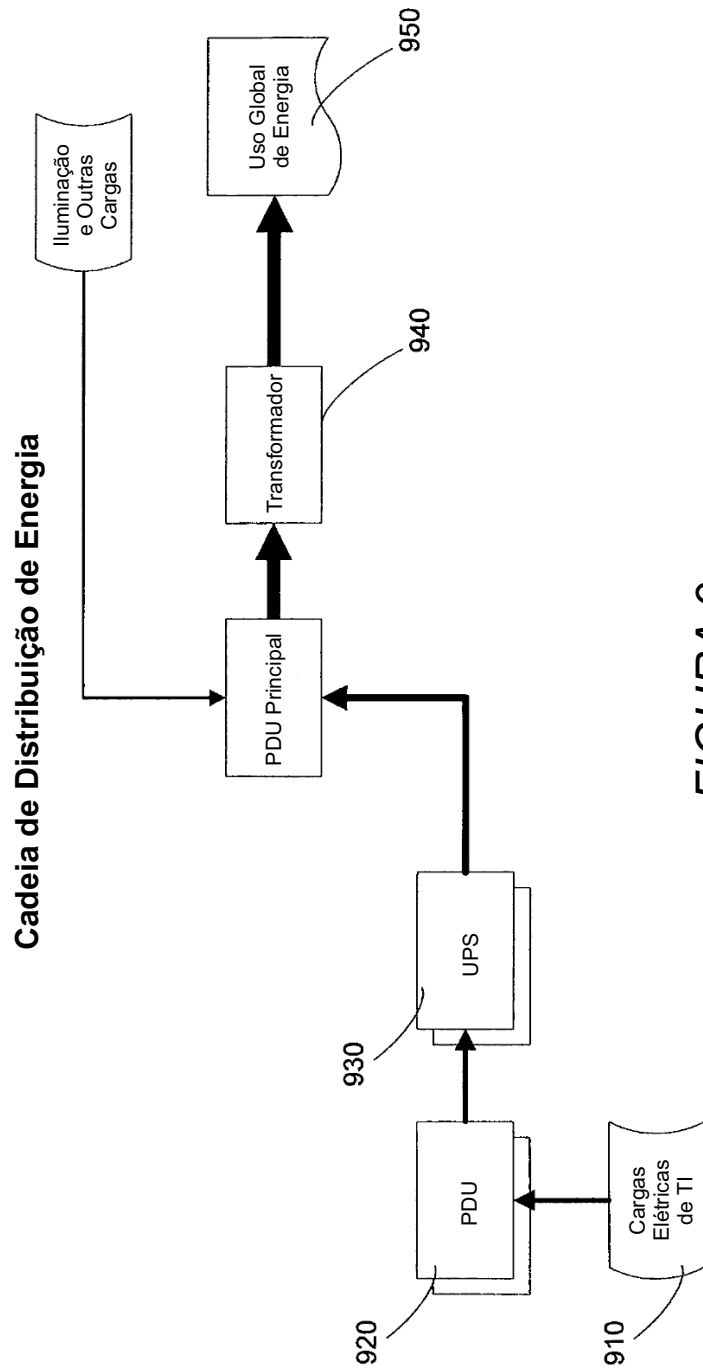
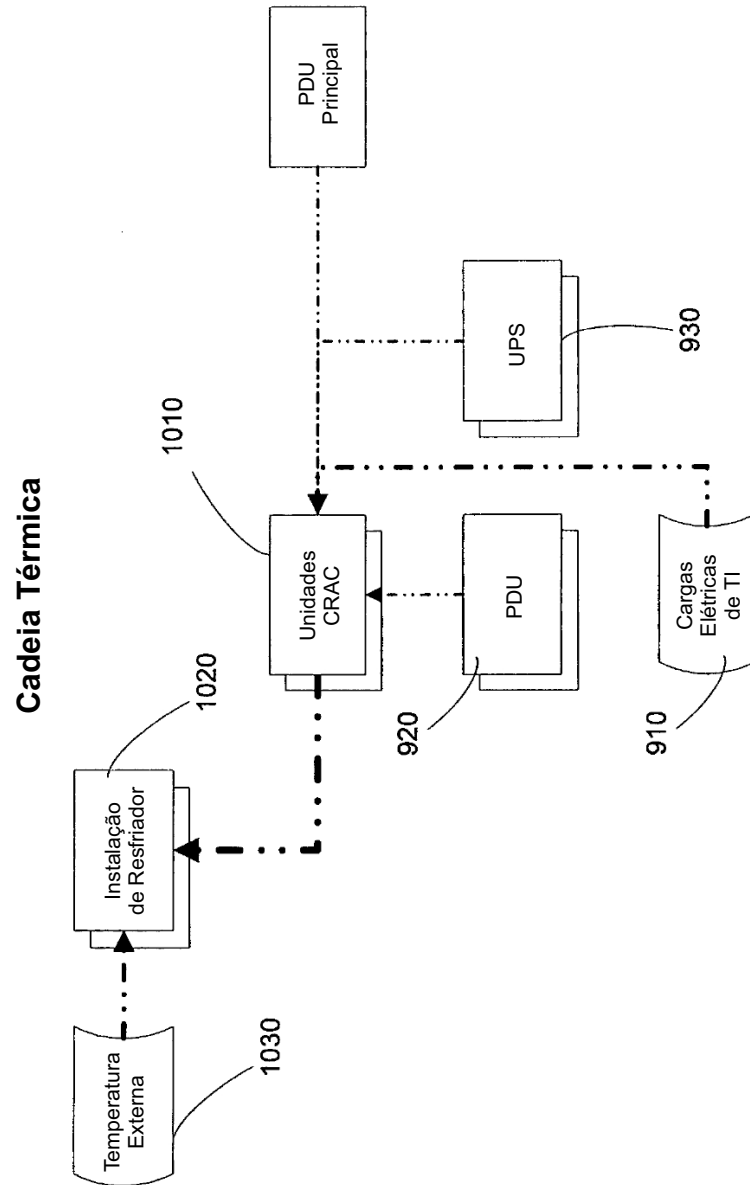


FIGURA 8

**FIGURA 9**

**FIGURA 10**

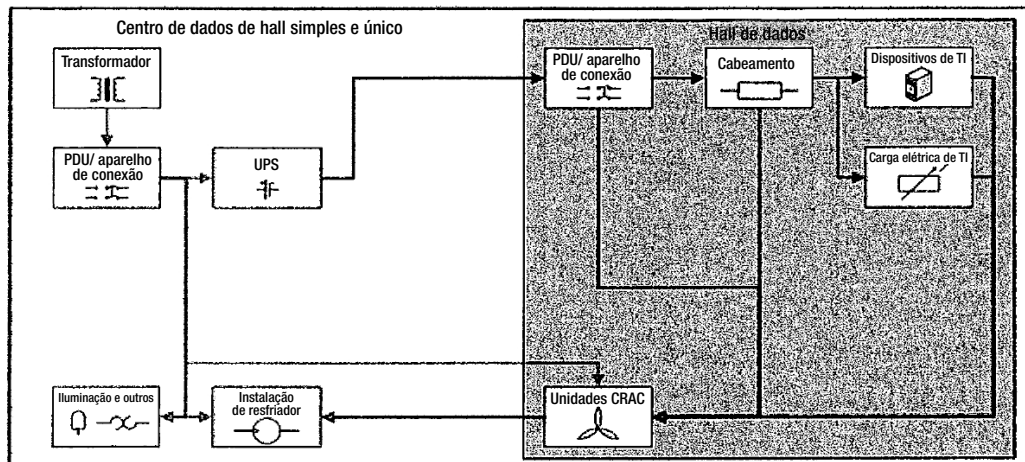


FIGURA 12

Simulação de Dispositivo de TI

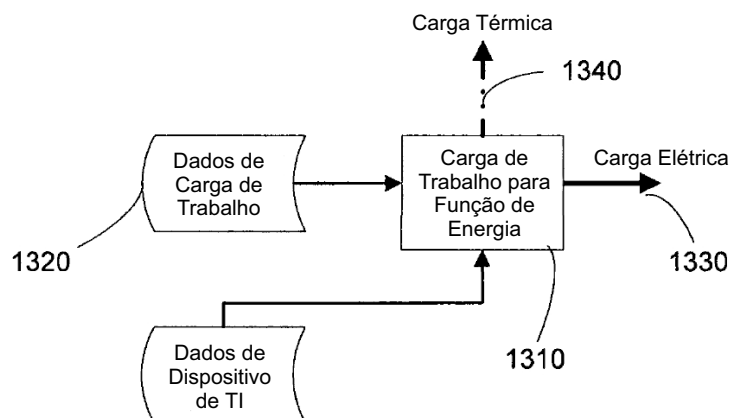


FIGURA 13

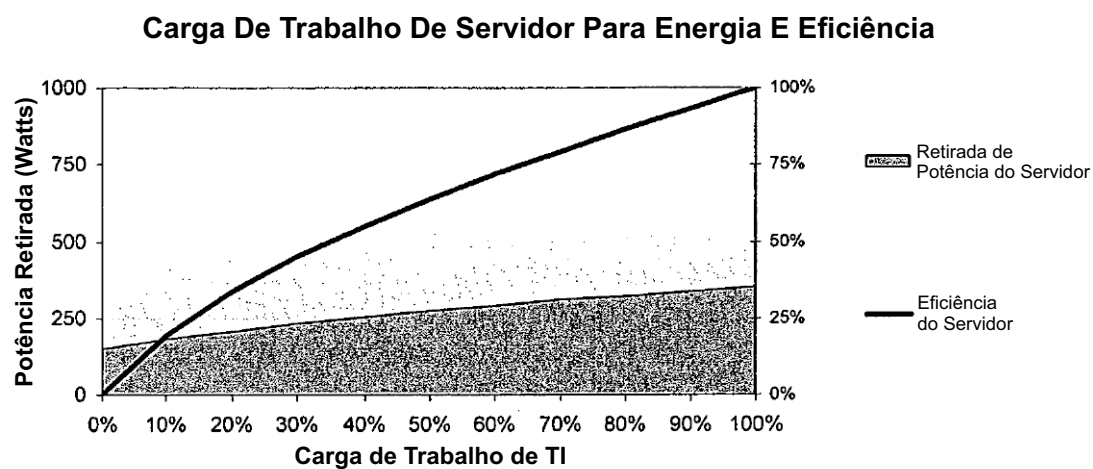


FIGURA 14

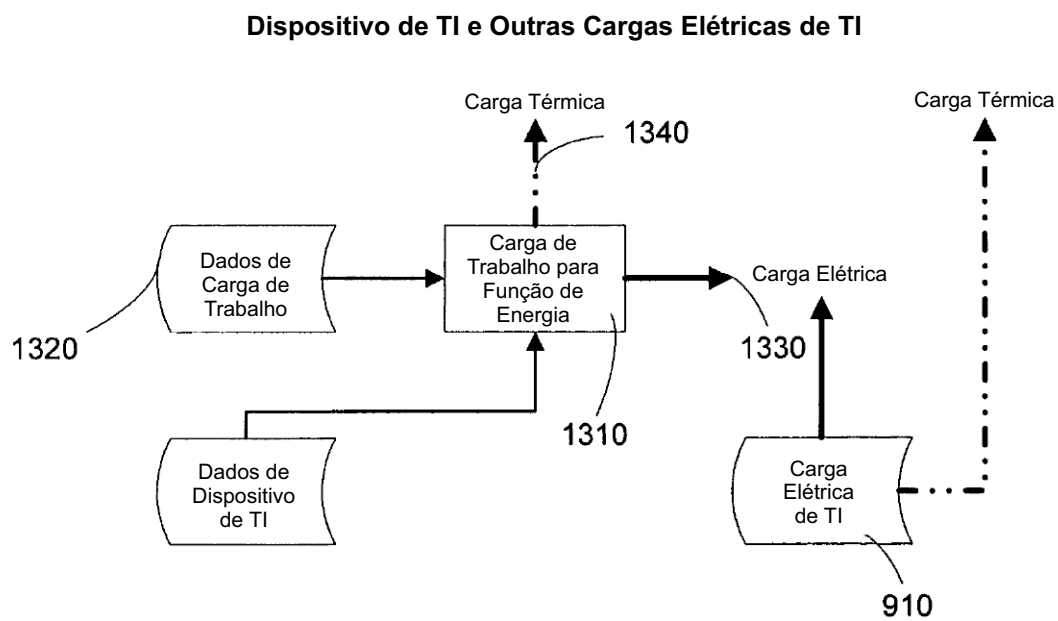


FIGURA 15

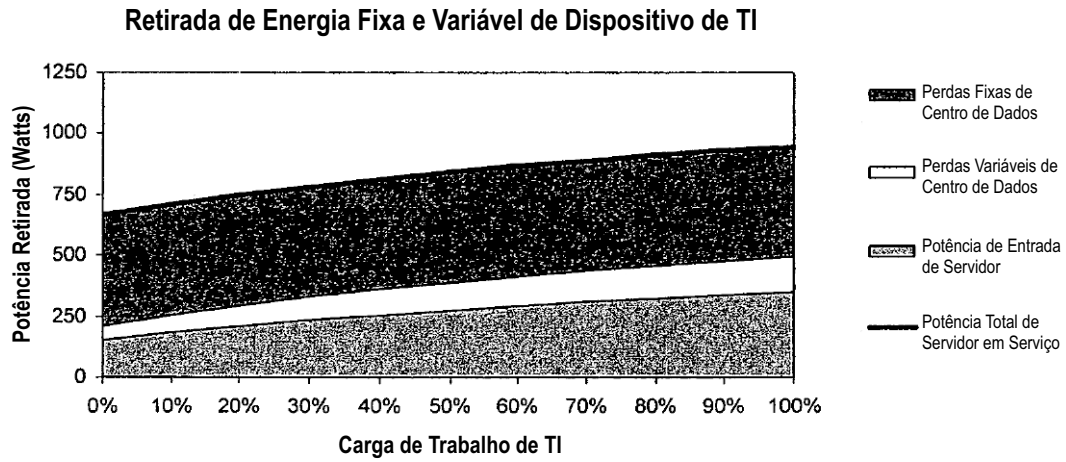


FIGURA 17

Alocação de Energia Fixa e Variável de Dispositivo de TI

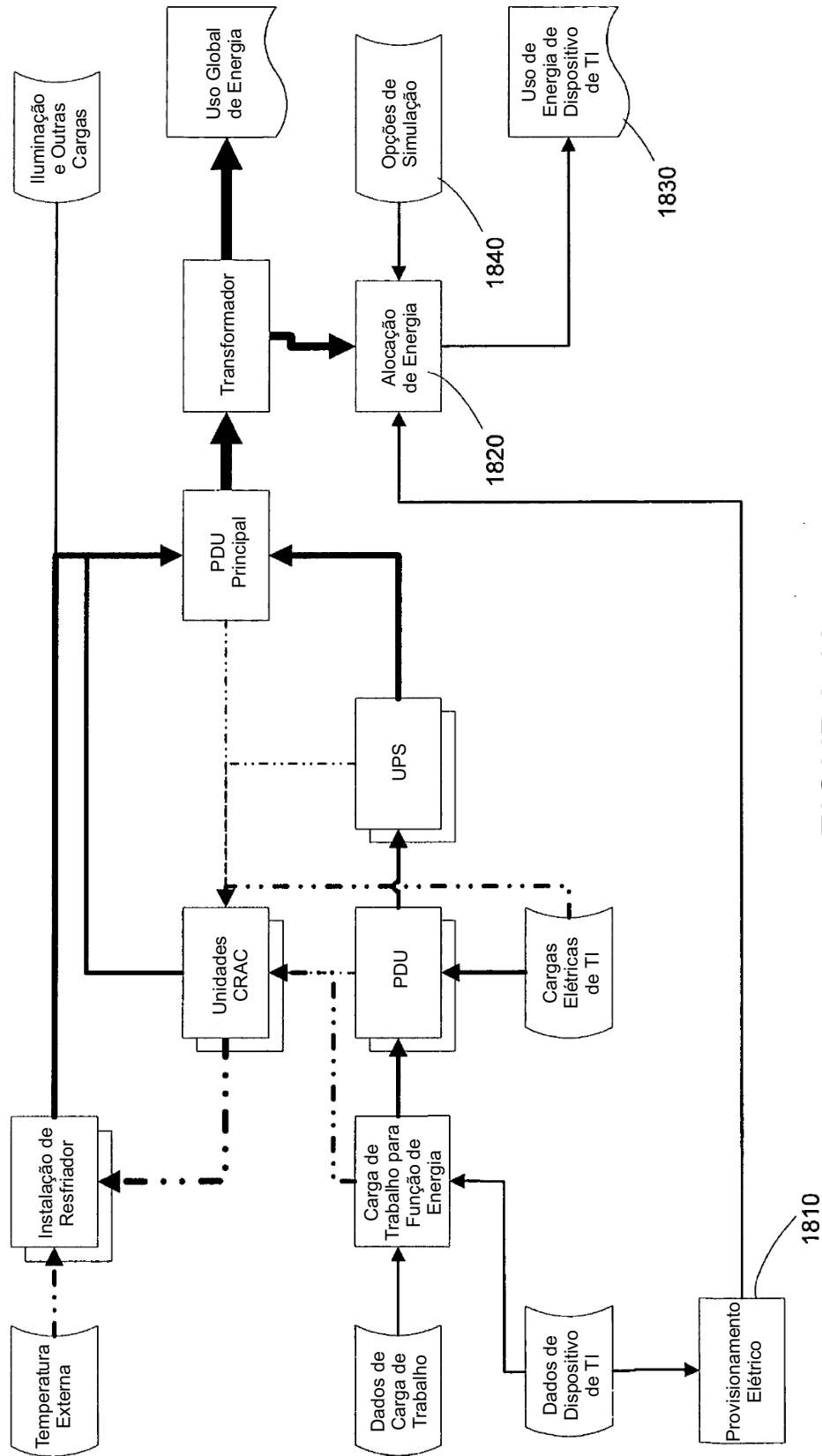


FIGURA 18

Estrutura de Software

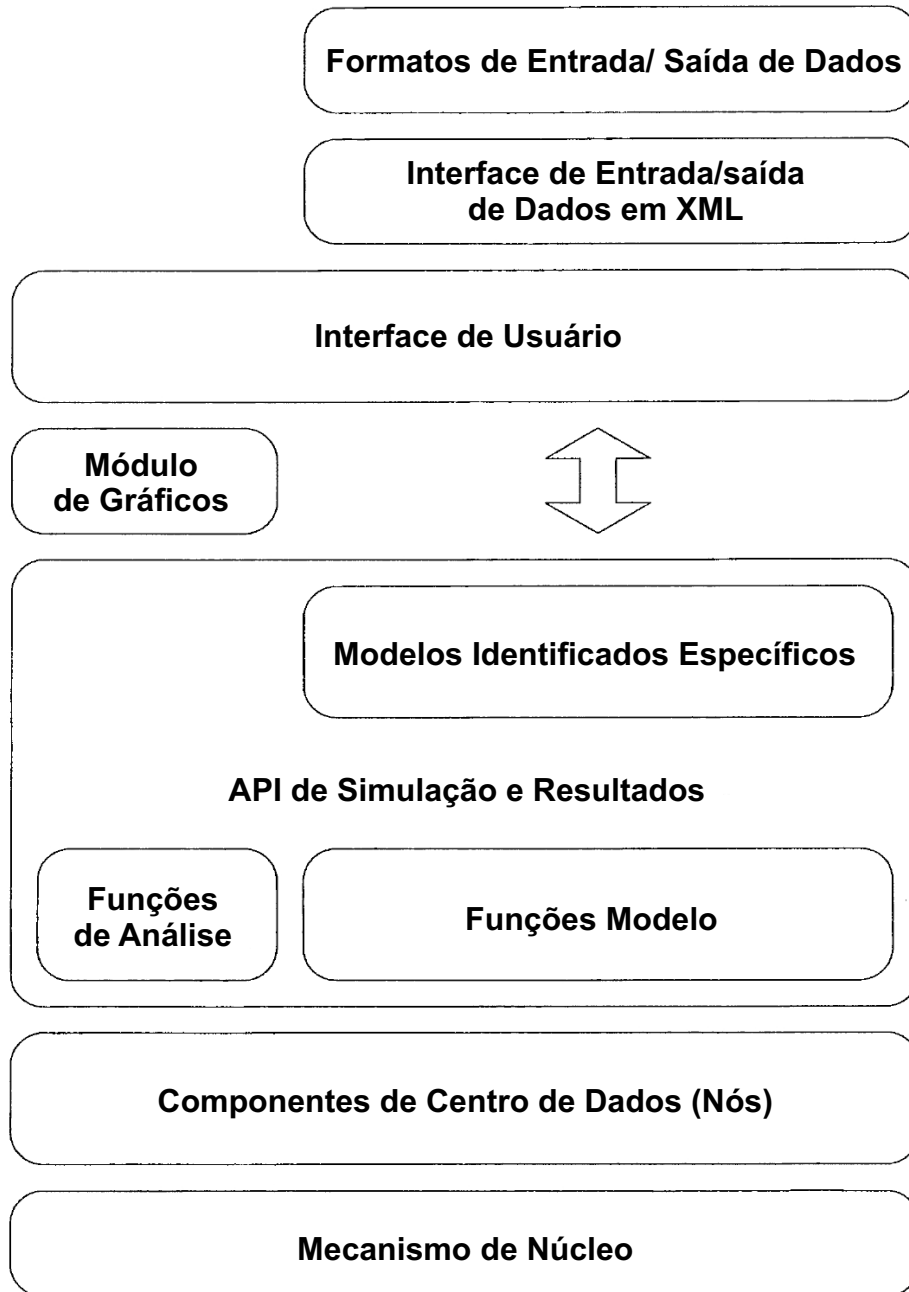
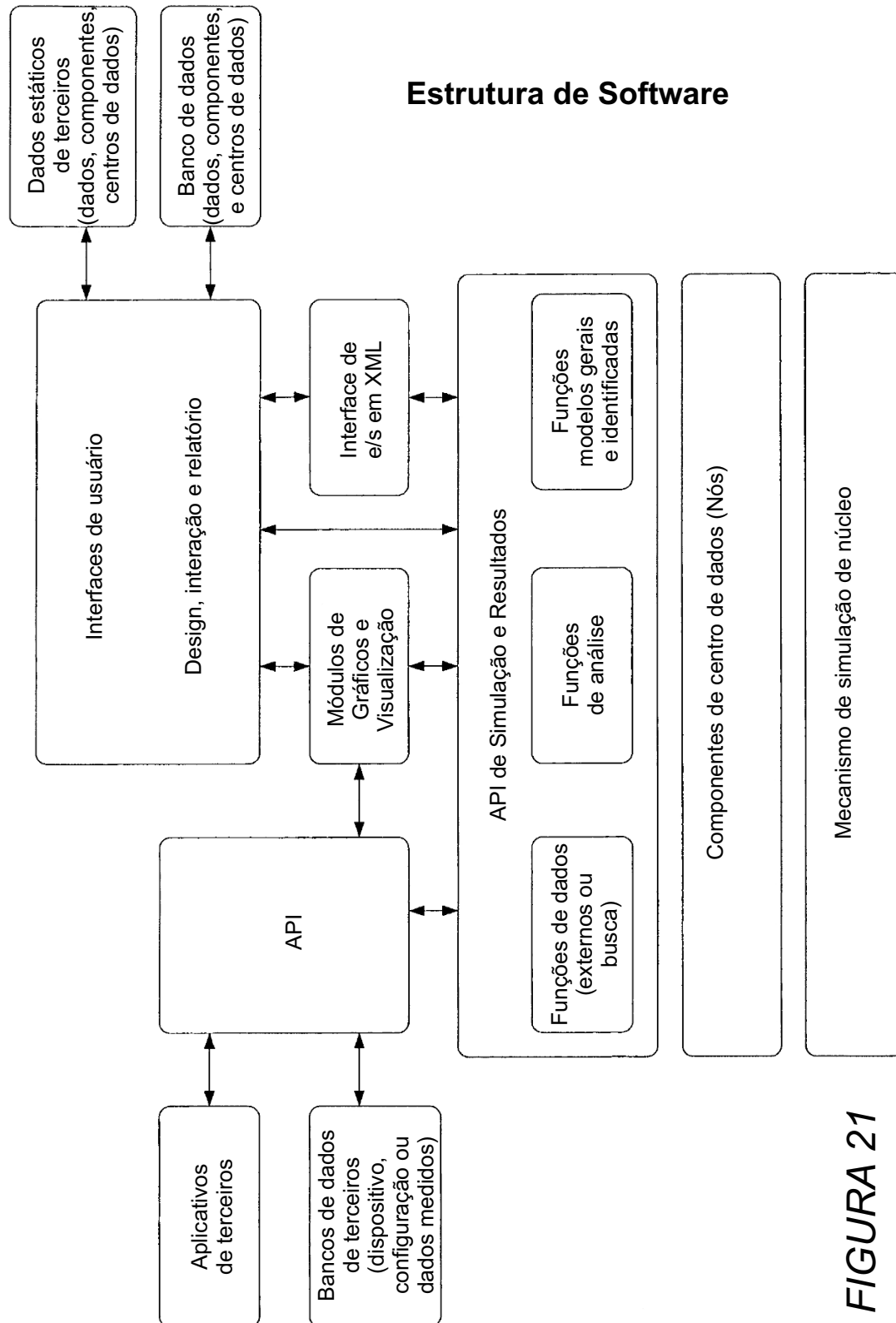


FIGURA 20



Estrutura de Software com Código-fonte Aberto

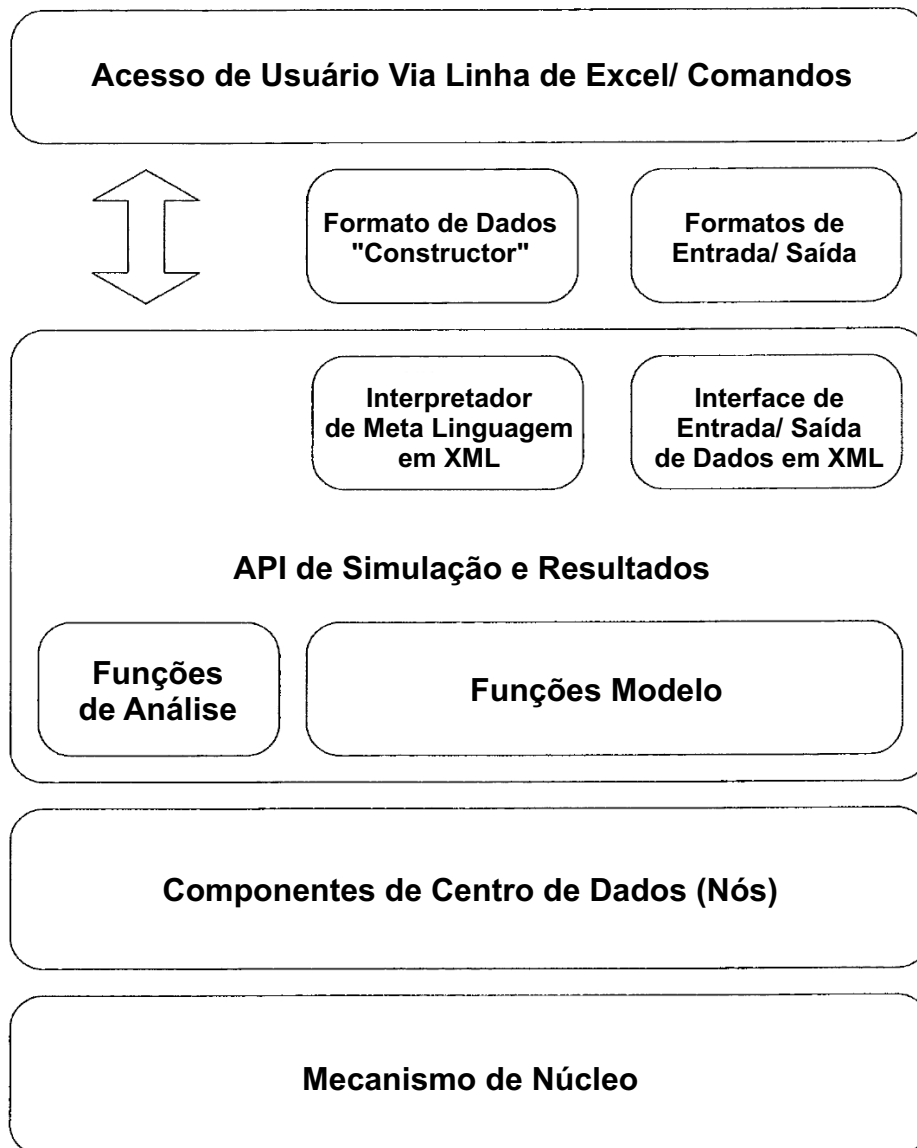


FIGURA 22

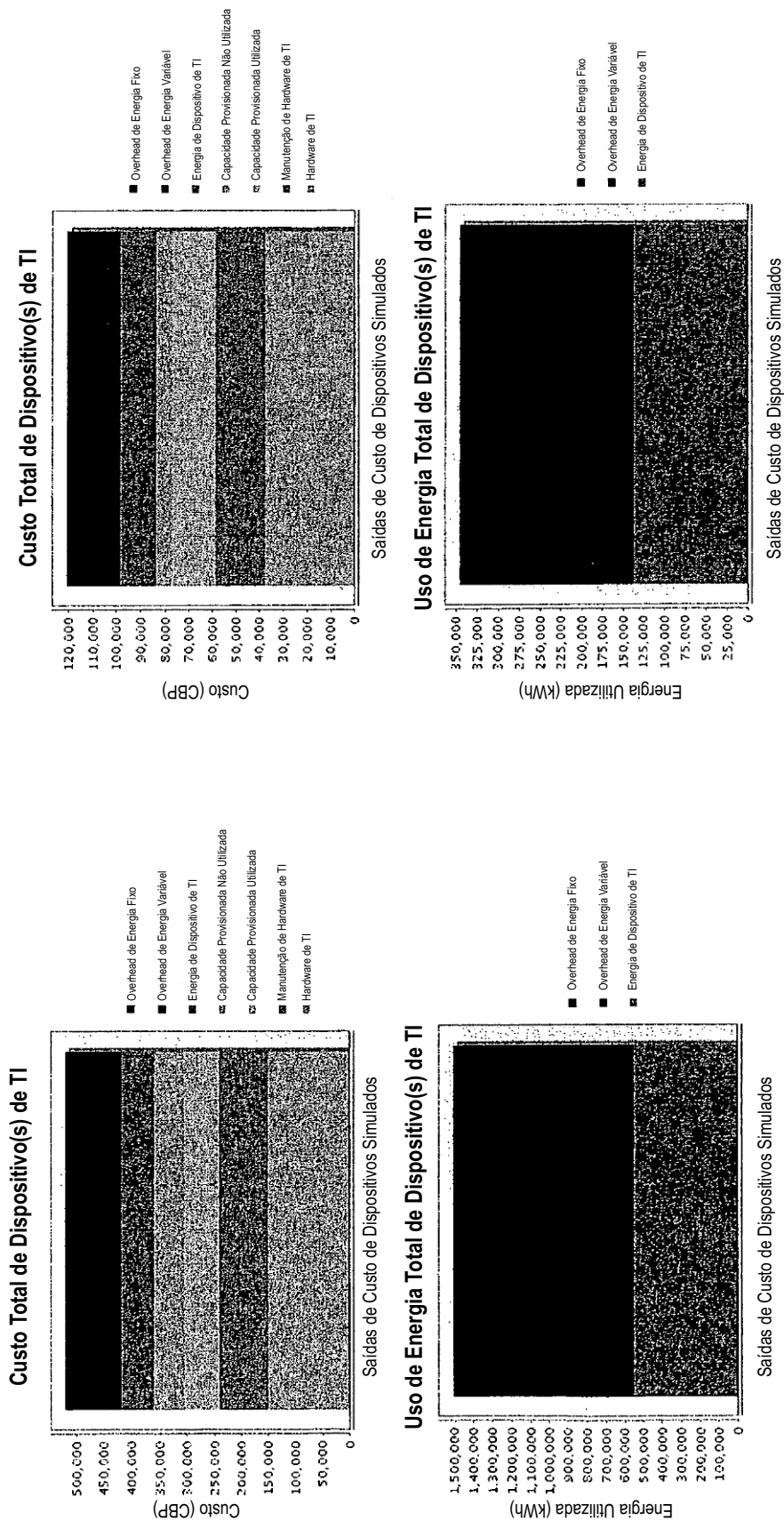


FIGURA 23

FIGURA 24

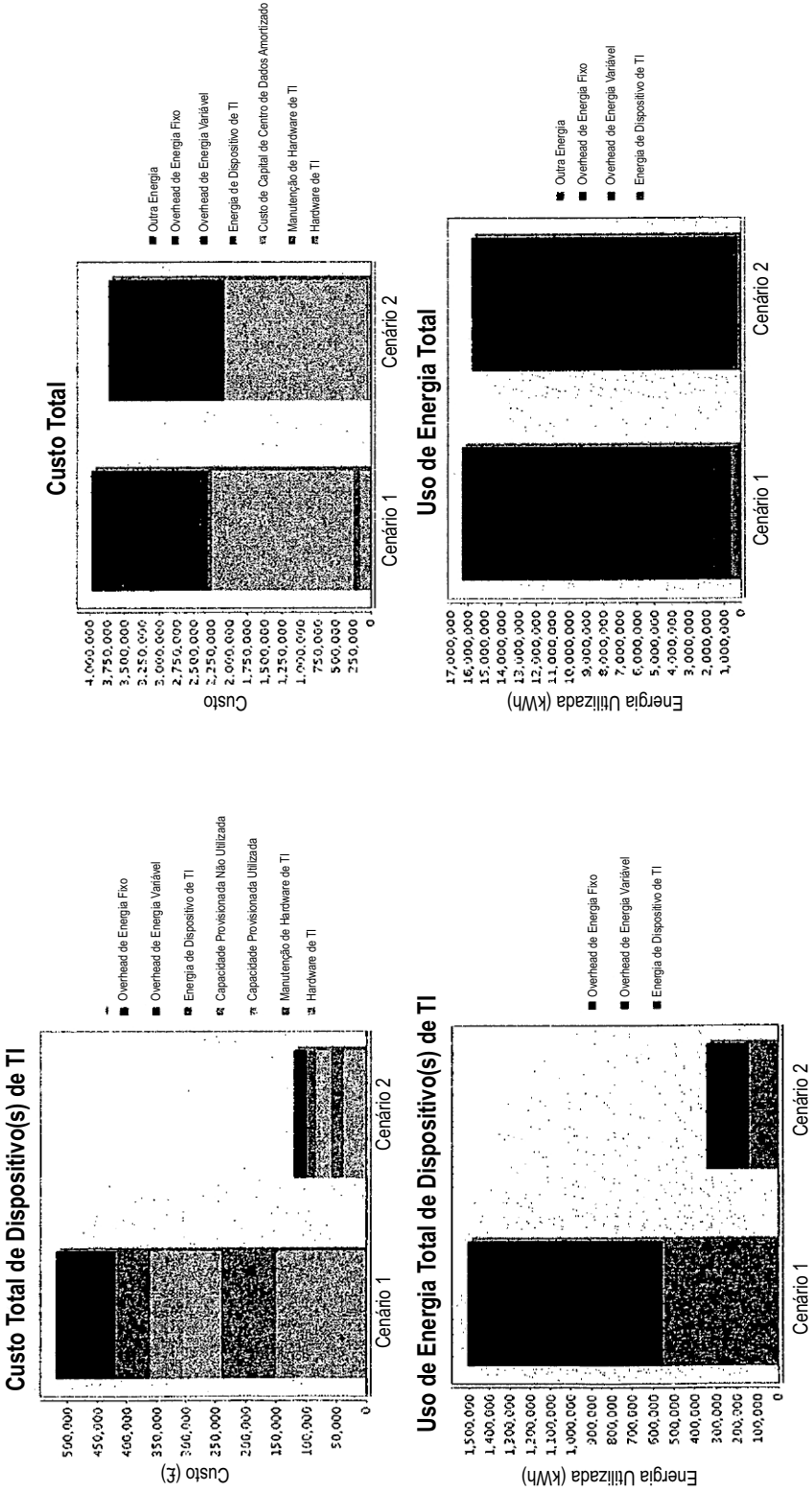


FIGURA 25

FIGURA 26