



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 1103024-0 A2



* B R P I 1 1 0 3 0 2 4 A 2 *

(22) Data de Depósito: 17/06/2011
(43) Data da Publicação: 11/03/2014
(RPI 2253)

(51) Int.Cl.:
G01R 21/00
G01R 31/00
H02J 3/00
H02J 13/00

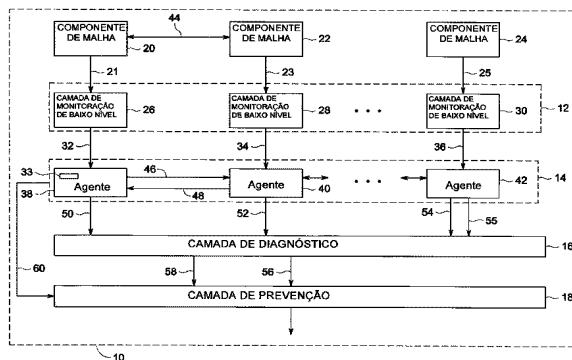
(54) **Título:** MÉTODO PARA DETERMINAR O STATUS DE UMA MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA E MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA

(30) **Prioridade Unionista:** 18/06/2010 US 12/818,206

(73) **Titular(es):** GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) **Inventor(es):** IBRAHIM GOKCEN, SAHIKA GENÇ

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA DETERMINAR O STATUS DE UMA MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA E MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. Trata-se um método para determinar um status de malha de energia de recuperação automática 10. Em que o método inclui receber 304 respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 que correspondem a um ou mais componentes da malha de energia 20, 22, 24, em que um ou mais agentes 38, 40, 42, 204, 206, 208 são acoplados aos ditos componentes da malha de energia 20, 22, 24, determinar 305 um respectivo estado de infecciosidade corrente 33 baseado nos dados de monitoração de tempo real 32, 34, 36 recebidos, determinar 306 respectivos dados de saída 46, 48 baseado no respectivo estado de infecciosidade 33, trocar 504, 506 os respectivos dados de saída 46, 48 com um ou mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208, e gerar um novo estado de infecciosidade respectivo 50, 52, 54 baseado nos dados de saída trocados 46, 48 e em um diagrama de transição de estados 55



**“MÉTODO PARA DETERMINAR O STATUS DE UMA MALHA DE ENERGIA
DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA E MALHA DE ENERGIA DE
RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA”**

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5 Uma malha de energia é uma combinação de redes de energia interconectadas que abrange geração de eletricidade, transmissão de eletricidade e distribuição de eletricidade. A malha de eletricidade é um sistema coletivo altamente complexo composto tipicamente de uma grande quantidade de componentes de malha de energia diferentes e complexos interagindo. A
10 malha de energia pode se referir a uma rede elétrica continental, uma rede de transmissão regional, ou simplesmente descrever uma sub-rede tal como, uma rede de transmissão e distribuição de uma concessionária local.

Uma vez que a malha de energia é uma coleção de componentes de malha de energia diferentes e redes de eletricidade interconectados e interagindo, a operação de um ou mais dos componentes de malha de energia e redes de eletricidade na malha de energia pode ser dependente ou efetuar as
15 operações de outros componentes da malha de energia ou outras redes de eletricidade na malha de energia. Por exemplo, uma falha de um dos componentes de malha de energia (completa ou parcialmente) geralmente desloca a carga do componente de malha de energia que falhou para componentes de malha de energia próximos. Portanto, os componentes de malha de energia próximos são levados além de sua capacidade e ficam sobrecarregados resultando em uma falha dos componentes de malha de energia próximos. Conseqüentemente, a falha de um componente de malha de
20 energia pode resultar em falha de outros componentes de malha de energia e combinações da falhas podem resultar em uma grande interrupção de energia. Tipicamente, uma falha de um componente de malha de energia que pode disparar falha de outros componentes da malha de energia é referenciada
25

como uma falha em cascata ou defeito em cascata. As falhas em cascata podem incluir sobrecargas em cascata, falhas de proteção de equipamento, instabilidade transiente, problemas de energia reativa, colapso de tensão, falhas de software, comunicação, atos terroristas, vandalismo, erros operacionais, e assim por diante.

Tipicamente, operadores individuais identificam e acessam as falhas em cascata ou contingências na malha de energia ou uma parte da malha de energia. Adicionalmente, os operadores individuais tentam prontamente executar ajustes na malha de energia para uma operação segura e contínua da malha de energia quando uma contingência ou falha em cascata potencial é identificada. Os operadores geralmente se baseiam em alarmes gerados por um sistema de gerenciamento de energia (EMS), dados gerados por controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA), e ferramentas de análise de contingência para identificar as contingências ou falhas em cascata potenciais. Entretanto, a identificação de contingências e falhas em cascata potenciais requer operadores treinados e experientes, computadores e comunicações sofisticados, e planejamento e desenho cuidadosos. Também, os operadores individuais são responsáveis pelas contingências e falhas em cascata em umas poucas partes da malha de energia, tal como, áreas metropolitanas densamente povoadas, linhas de malha de energia que compartilham uma estrutura comum ou um modo de falha comum. Portanto, os operadores individuais podem não identificar grandes interrupções de energia em cascata que podem ocorrer devido a combinações de certos defeitos ou falhas em cascata.

Consequentemente, é altamente desejável desenvolver uma malha de energia de recuperação automática que seja mais segura. Além disso, existe uma necessidade de uma malha de energia que possa identificar um ou mais defeitos em cascata. Além disso, existe uma necessidade de uma

malha de energia de recuperação automática que possa identificar ou predizer potenciais interrupções de energia e possa atuar apropriadamente para proteger a malha de energia de recuperação automática de potenciais interrupções de energia.

5

BREVE DESCRIÇÃO

Realizações da revelação referem-se em geral a malhas de energia e mais particularmente a malhas de energia de recuperação automática.

10 Brevemente de acordo com um aspecto da técnica, é apresentado um método que determina um status de malha de energia de recuperação automática. O método inclui receber respectivos dados de monitoração em tempo real que correspondem a um ou mais componentes de malha de energia, em que um ou mais agentes são acoplados aos ditos componentes de malha de energia, determinando um estado de infecciosidade
15 corrente respectivo baseado nos dados de monitoração recebidos em tempo real, determinar os respectivos dados de saída em consequência do respectivo estado de infecciosidade corrente, trocar os respectivos dados de saída com um ou mais agentes vizinhos, e gerar um respectivo estado de infecciosidade novo baseado nos dados de saída trocados e em um diagrama de transição de
20 estados.

De acordo com um aspecto do presente sistema, é apresentada uma malha de energia de recuperação automática. A malha de energia de recuperação automática inclui uma pluralidade de componentes de malha de energia, uma pluralidade de camadas de monitoração acopladas aos
25 componentes de malha de energia, em que as camadas de monitoração observam uma ou mais características em tempo real da pluralidade de componentes de malha de energia para gerar respectivos dados de monitoração em tempo real, e uma pluralidade de agentes acoplados

comunicativamente a camada de monitoração. O um ou mais da pluralidade de agentes recebe os respectivos dados de monitoração em tempo real correspondentes a um ou mais componentes de malha de rede, determina o respectivo estado de infecciosidade corrente, troca os respectivos dados de saída com um ou mais agentes vizinhos, e gera um respectivo novo estado de infecciosidade baseado nos dados de saída trocados.

BREVE DESCRIÇÃO

Estas e outras características, aspectos e vantagens do presente sistema ficarão melhor entendidos quando a descrição detalhada a seguir for lida com referências aos desenhos em anexo nos quais caracteres semelhantes representam partes semelhantes por todos os desenhos, em que:

A Figura 1 um diagrama de blocos de representação de uma arquitetura ilustrativa de uma malha de energia de recuperação automática, de acordo com aspectos do presente sistema;

A Figura 2 é uma representação diagramática de uma malha de energia de recuperação automática ilustrativa que mostra o posicionamento de uma pluralidade de agentes na malha de energia de recuperação automática, de acordo com aspectos do presente sistema;

A Figura 3 é um fluxograma que representa um método ilustrativo para determinar um ou mais defeitos em cascata na malha de energia de recuperação automática da Figura 1, de acordo com aspectos da presente técnica;

A Figura 4 é fluxograma que representa um método ilustrativo para determinar respectivos dados de saída por um agente na malha de energia de recuperação automática da Figura 1, de acordo com aspectos da presente técnica;

A Figura 5 é fluxograma que representa um método ilustrativo para a geração de um respectivo novo estado de por um agente na malha de

energia de recuperação automática da Figura 1;

A Figura 6 é um diagrama de transição de estados para determinar probabilidades de transição de estados de um agente na malha de energia de recuperação automática da Figura 1, de acordo com aspectos da presente técnica;

A Figura 7 é fluxograma que representa um método ilustrativo para gerar um indicador de defeito em cascata através de uma camada de diagnóstico na malha de energia de recuperação automática da Figura 1, de acordo com aspectos da presente técnica; e

A Figura 8 é fluxograma que representa um método ilustrativo para determinar medidas preventivas através de uma camada de prevenção na malha de energia de recuperação automática da Figura 1, de acordo com aspectos da presente técnica.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Como discutido em detalhes abaixo, realizações das presentes técnicas modelam uma malha de energia de recuperação automática análoga a população humana. Consequentemente, de acordo com aspectos das presentes técnicas, a malha de energia de recuperação automática tem uma arquitetura baseada no “ciclo cognitivo humano” ou “ciclo OODA” (Boyd, John, R., The Essence of Winning and Losing, 28 de junho de 1995, localizado em http://www.chetrichards.com/modern_business_strategy/boyd/essence/eowl_framenet.htm). Além disso, realizações do presente sistema e técnicas modelam uma propagação de uma ou mais falhas ou defeitos em cascata na malha de energia de recuperação automática análogo em alguns aspectos a uma propagação de doenças infecciosas na população humana. Portanto, as realizações aplicam um ou mais métodos que são usados para detecção, prevenção e contenção de defeitos em cascata na malha de energia de recuperação automática. Tipicamente, redes autômatas randômicas (RANs)

são usadas para a detecção, prevenção e contenção de doenças infecciosas na população humana. Assim, realizações do presente sistema ou técnicas aplicam as RANs para a detecção, prevenção e contenção de defeitos em cascata na malha de energia de recuperação automática.

5 Com referência agora a Figura 1, uma representação de diagrama de bloco de uma arquitetura ilustrativa de uma malha de energia de recuperação automática 10 é retratada. Como mostrado na configuração contemplada presentemente, a arquitetura da malha de energia de recuperação automática 10 pode incluir quatro camadas 12, 14, 16, 18 para
10 avaliar a saúde da malha de energia de recuperação automática 10. Mais particularmente, as camadas 12, 14, 16, 18 determinam, predizem, evitam e suprimem um ou mais defeitos em cascata ou potenciais interrupções de energia na malha de energia de recuperação automática 10. As quatro camadas 12, 14, 16, 18 incluem uma camada de monitoração de baixo nível
15 12, uma camada de agentes 14, uma camada de diagnóstico 16 e uma camada de prevenção 18. As quatro camadas 12, 14, 16, 18 são similares em certos aspectos aos quatro estágios do ciclo cognitivo humano que incluem “Observar-Orientar-Decidir-Planejar/Agir” ou o “ciclo OODA”.

Além disso, a camada de monitoração de baixo nível 12 observa
20 certas características de tempo-real 21, 23, 25 de um ou mais componentes de malha de energia 20, 22, 24 para gerar dados de monitoração em tempo-real 32, 34, 36 que correspondem aos componentes de malha de energia 20, 22, 24 respectivamente. As características, por exemplo, podem incluir temperatura, corrente, tensão, ou algo semelhante. Adicionalmente, os dados de
25 monitoração em tempo real 32, 34, 36, por exemplo, incluem alarmes de status, alarmes de violação de limites, quedas de energia, fatores de distribuição de queda de energia, topologia de rede, estado operacional, ou algo semelhante. A título de exemplo não limitante, a camada de monitoração de baixo nível 12

pode incluir um sistema de gerenciamento de energia (EMS), um sistema de troca de dados (SDX), um sistema de aquisição de dados e controle e sistema (SCADA), um processador de topologia, ou combinações destes. Também, os componentes de malha de energia 20, 22, 24, por exemplo, podem incluir operadores de transmissão regional, subestações de transmissão, subestações de distribuição, fontes de energia distribuída, sistema de média tensão, transformadores, organização de transmissão regional, softwares, operador de sistema independente, organizações da malha de energia, sistemas de gerenciamento de energia (EMS), sistemas de aquisição de dados e controle do sistema (SCADA), terminais remotos de campo (RTU), estações principais, áreas de controle, um processador de topologia, calculador de distribuição de alternância, ou algo semelhante. Será avaliado por um indivíduo versado na técnica que embora a configuração contemplada presentemente da malha de energia de recuperação automática 10 inclua os três componentes de malha 20, 22, 24, uma quantidade de componentes da malha de energia pode aumentar baseado na topologia de rede da malha de energia de recuperação automática 10, uma expansão da malha de energia de recuperação automática 10, ou algo semelhante.

Como mostrado na Figura 1, a camada de monitoração de baixo nível 12 pode incluir uma pluralidade de camadas de monitoração 26, 28, 30. Pode ser observado que uma quantidade de camadas de monitoração na malha de energia de recuperação automática 10 pode variar e depende da topologia de rede e da quantidade de componentes da malha de energia na malha de energia de recuperação automática 10. Na configuração presentemente considerada, a primeira camada de monitoração 26 observa as características 21 do primeiro componente de malha de energia 20 para um período de tempo predeterminado para gerar os primeiros dados de monitoração em tempo real 32. A segunda camada de monitoração 28 observa

as características 23 do segundo componente de malha de energia 22 para o período de tempo predeterminado para gerar os segundos dados de monitoração em tempo real 34. Adicionalmente, a terceira camada de monitoração 30 observa as características 25 do terceiro componente de malha de energia 24 para o período de tempo predeterminado para gerar os terceiros dados de monitoração em tempo real 36. Subsequentemente a camada de monitoração de baixo nível 12 pode enviar os dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 para a camada de agentes 14.

Além disso, a camada de agentes 14 inclui uma pluralidade de agentes 38, 40, 42 que recebe os dados de monitoração em tempo-real 32, 34, 36 a partir das respectivas camadas de monitoração 26, 28, 30. Mais particularmente, o agente 38 recebe os primeiros dados de monitoração em tempo real 32 da primeira camada de monitoração 26, o agente 40 recebe os segundos dados de monitoração em tempo real 34 da segunda camada de monitoração 28 e o agente 42 recebe os terceiros dados de monitoração em tempo real 34 da terceira camada de monitoração 30. Os agentes 38, 40, 42 determinam os respectivos estados de infecciosidade correntes baseados nos respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 recebidos. Mais particularmente, o agente 38 determina um estado de infecciosidade corrente respectivo 33 baseado nos dados de monitoração em tempo real recebidos 32, o agente 40 determina um estado de infecciosidade corrente respectivo baseado nos dados de monitoração em tempo real recebidos 34, e o agente 42 determina um estado de infecciosidade corrente respectivo baseado nos dados de monitoração em tempo real recebidos 36. Como usado neste documento, o termo “estado de infecciosidade” pode ser usado para se referir a um estado ou um agente operacional. Os estados de infecciosidade, por exemplo, podem incluir um estado normal, um estado morto, um estado de falha, um estado de falha oculto, um estado recuperado, ou algo semelhante. O termo “estado de

infecciosidade corrente” pode ser usado para referenciar um estado operacional ou estado de infecciosidade presente de um agente. A determinação dos respectivos estados de infecciosidade correntes baseados nos dados de monitoração em tempo real respectivos recebidos 32, 34, 36
5 serão explicados em maiores detalhes com referência a Figura 4.

Além disso, os agentes 38, 40, 42 determinam respectivos dados de saída baseados nos respectivos estados de infecciosidade correntes, tais como, o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38. Na realização ilustrativa, o agente 38 determina um respectivo dado de saída 46 e
10 o agente 40 determina um respectivo dado de saída 48. Pode ser observado que quando o respectivo estado de infecciosidade corrente de um ou mais agentes 38, 40, 42 é um estado morto, então o um ou mais agentes 38, 40, 42 podem não gerar os respectivos dados de saída. A determinação dos respectivos dados de saída baseados nos respectivos estados de
15 infecciosidade corrente, tal como, o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 4.

Subsequentemente, os agentes 38, 40, 42 trocam os respectivos dados de saída com respectivos agentes vizinhos. Como usado aqui, o termo “agentes vizinhos” pode ser usado para referenciar pelo menos dois agentes,
20 em que pelo menos um componente de malha de rede que corresponde a um dos agentes é conectado fisicamente ou operacionalmente dependendo de pelo menos um componente de malha de energia que corresponde a outro agente. Daqui em diante, os termos “agentes vizinhos” e “vizinhos” serão usados intercaladamente. Por exemplo, como mostrado na Figura 1, o agente
25 38 é um agente vizinho do agente 40, uma vez que o componente de malha de energia 20 que corresponde ao agente 38 é conectado fisicamente através de uma conexão 44 ao componente de malha de energia 22 que corresponde ao agente 40. Como mostrado na configuração contemplada presentemente, os

agentes 38, 40 trocam respectivos dados de saída 46, 48 respectivamente. Mais particularmente, o agente 38 envia os respectivos dados de saída 46 para o agente 40, e o agente 40 envia os respectivos dados de saída 48 para o agente 38. Pode ser observado que embora por facilidade de entendimento, apenas os agentes 38, 40 sejam mostrados como trocando os respectivos dados de saída 46, 48, uma quantidade de agentes que trocam os respectivos dados de saída pode variar e depende da topologia da rede, de uma quantidade de agentes vizinhos, de uma quantidade de componentes de malha de energia, em uma malha de energia de recuperação automática, ou algo semelhante. Como observado previamente, um ou mais agentes que tenham um respectivo estado de infecciosidade corrente equivalente a um estado morto podem não gerar os respectivos dados de saída e deste modo, podem não trocar os respectivos dados de saída com os respectivos agentes vizinhos.

Além disso, em certas realizações, os agentes 38, 40, 42 geram novos estados de infecciosidade respectivos 50, 52, 54. Como usado neste documento, o termo “novo estado de infecciosidade” pode ser usado para referenciar a um potencial estado de infecciosidade ou potencial estado operacional de um agente. Em uma realização ilustrativa, os agentes 38, 40, 42 geram os novos estados de infecciosidade respectivos 50, 52, 54 baseados nos dados de saída trocados. Mais particularmente, os agentes 38, 40, 42 podem gerar os novos estados de infecciosidade respectivos 50, 52, 54 baseado nos dados de saída que são recebidos dos respectivos agentes vizinhos, em um diagrama de transição de estados 55, nos respectivos estados de infecciosidade correntes, nos respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 e em um ou mais parâmetros 60. Em uma realização ilustrativa, o diagrama de transição de estados 55 pode ser armazenado em um repositório de dados de um ou mais agentes 38, 40, 42. Um diagrama de transição de estados ilustrativo 55 será mostrado na Figura 6. Adicionalmente,

o um ou mais parâmetros 60, por exemplo, podem incluir uma taxa de remoção de componentes da malha de energia, um parâmetro de distribuição de falha, uma probabilidade de observação, ou algo semelhante. O um ou mais parâmetros 60, por exemplo, pode ser gerado baseado no conhecimento de um especialista, uma análise de fluxo de energia, um ou mais métodos estatísticos, ou algo semelhante. A geração dos novos estados de infecciosidade respectivos 50, 52, 54 será descrita em maiores detalhes com referência a Figura 5.

Em certas realizações, os agentes 38, 40, 42 transmitem os novos estados de infecciosidade respectivos 50, 52, 54 para a camada de diagnóstico 16. Em uma realização particular, um dos agentes 38, 40, 42 também transmite o diagrama de transição de estados 55. A camada de diagnóstico 16 determina uma ou mais falhas em cascata na rede de energia de recuperação automática 10 baseada nos novos estados de infecciosidade recebidos 50, 52, 54 e no diagrama de transição de estados 55. Em uma realização, a camada de diagnóstico 16 determina a uma ou mais falhas em cascata através da geração de uma ou mais equações algébricas diferenciais 58 e processamento das equações algébricas diferenciais 58 para determinar um ou mais pontos de equilíbrio. A geração de uma ou mais equações algébricas diferenciais 58 e o processamento de uma ou mais equações algébricas diferenciais 58 para determinar a uma ou mais falhas em cascata serão explicados em maiores detalhes com referência a Figura 7.

Além disso, a camada de diagnóstico 16 gera um indicador de falha em cascata 56 baseado na determinação de uma ou mais falhas em cascata. Como usado neste documento, o termo “indicador de falhas em cascata” pode ser usado para referenciar um valor que identifica uma ou mais falhas em cascata em uma malha de energia de recuperação automática. Em uma realização, indicador de falha em cascata 56 pode ter um valor igual a “0”

que indica nenhuma falha em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Em outra realização, o indicador de falha em cascata 56 pode ter um valor igual a "1" que indica uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Adicionalmente, em uma realização, a camada de diagnóstico 16 pode gerar um indicador de falha em cascata único que corresponde a uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Em outra realização a camada de diagnóstico 16 pode gerar múltiplos indicadores de falha em cascata que correspondem a múltiplas falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. A título de exemplo não limitante, a camada de diagnóstico 16 pode incluir uma ou mais rotinas, um microprocessador, um computador, um ou mais programas, ou algo semelhante. A determinação de uma ou mais falhas em cascata e a geração de um indicador de falha em cascata será descrita em maiores detalhes com referência a Figura 7.

Além disso, a camada de prevenção 18 recebe o indicador de falha em cascata 56 e a uma ou mais equações algébricas diferenciais 58 da camada de diagnóstico 16. Adicionalmente, a camada de prevenção 18 recebe o um ou mais parâmetros 60 da camada de agentes 14. A título de exemplo não limitante, a camada de prevenção 18 inclui uma ou mais rotinas, um microprocessador, um computador, um ou mais programas, ou algo semelhante. A camada de prevenção 18 pode determinar uma ou mais medidas preventivas baseada no indicador de falha em cascata 56. Mais particularmente, a camada de prevenção 18 pode determinar uma ou mais medidas preventivas quando o indicador de falha em cascata 56 indica uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Em uma realização, a camada de prevenção 18 pode determinar uma ou mais medidas utilizando equações algébricas diferenciais 58 e um ou mais parâmetros 60. Como usado neste documento, o termo "medidas preventivas"

pode ser usado para referenciar a uma ou mais etapas que podem evitar que possam ocorrer potenciais interrupções de energia na malha de energia de recuperação automática 10 devido a uma ou mais falhas em cascata determinadas pela camada de diagnóstico 16. Mais particularmente, as
5 medidas preventivas podem ser a uma ou mais etapas que podem variar uma taxa de prevenção e uma taxa de espalhamento de falhas para evitar potenciais interrupções de energia na malha de energia de recuperação automática 10. As medidas preventivas, por exemplo, podem incluir uma queda de carga automática, um ilhamento controlado, mudanças na topologia, uma
10 religação da camada de agentes 14, ou algo semelhante.

Além disso, em certas realizações, os agentes 38, 40, 42 podem atualizar o respectivo estado de infecciosidade corrente através do equacionamento do respectivo novo estado de infecciosidade para o respectivo estado de infecciosidade corrente. Por exemplo, quando o novo estado de
15 infecciosidade do agente 38 é um estado em falha, então o estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é equacionado para o estado de falha. Subsequente a atualização do respectivo estado de infecciosidade, os agentes 38, 40, 42 podem determinar respectivos dados de saída atualizados sobre o estado de infecciosidade corrente. Adicionalmente, os agentes 38, 40, 42
20 podem trocar os dados de saída atualizados com respectivos agentes vizinhos. Subsequente a troca de dados de saída atualizados, os respectivos novos estados de infecciosidade podem ser determinados pelos agentes 38, 40, 42. A determinação dos respectivos dados de saída atualizados será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 4.

25 Com referência agora a Figura 2 é uma ilustração diagramática de uma parte ilustrativa da malha de energia de recuperação automática 100 que mostra posicionamento ilustrativo de uma pluralidade de agentes 202, 204, 206, 208. Os agentes 202, 204, 206, 208, por exemplo, podem ser similares a

um ou mais dos agentes 38, 40, 42 (ver Figura 1). Deve ser observado que embora na configuração contemplada presentemente a malha de energia de recuperação automática 100 inclua quatro agentes 202, 204, 206, 208, uma quantidade de agentes varia baseada na topologia de rede, tamanho, 5 expansão da malha de energia de recuperação automática 100, ou algo semelhante. Como mostrado na realização ilustrativa, o agente 202 corresponde a componentes de malha de energia que incluem um gerador 210, sistemas de transmissão 212, 214 e um operador de transmissão regional 216. Mais particularmente, o agente 202 recebe dados de monitoração em tempo 10 real, tais como, dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 (ver Figura 1) que correspondem aos componentes de malha de energia 210, 212, 214, 216. Como observado previamente, o agente 202 pode receber os dados de monitoração em tempo real através das camadas de monitoração 218, 220.

De maneira similar, na realização ilustrativa, o agente 204 15 corresponde a componentes de malha de energia que incluem sistemas de transmissão 212, 214, 224 e um gerador 222 e recebe dados de monitoração em tempo real que correspondem aos componentes 212, 214, 222, 224 através das camadas de monitoração 220, 226, 228, 229. Além disso, o agente 206 corresponde aos componentes de malha de energia que incluem uma 20 subestação de transmissão 230, uma subestação de distribuição 232 e um centro de controle de distribuição 234. Adicionalmente, o agente 206 recebe os dados de monitoração em tempo real que correspondem a componentes de malha de energia 230, 232, 234 através de camadas de monitoração 236, 238. De maneira similar, o agente 208 corresponde a componentes de malha de 25 energia que incluem a subestação de distribuição 232, recursos de energia distribuída 240 e um sistema de transmissão 242. O agente 208 recebe os dados de monitoração em tempo real que correspondem aos componentes de malha de energia 232, 240, 242 através de uma camada de monitoração 244.

Como observado previamente com referência a Figura 1, os agentes 202, 204, 206, 208 determinam os respectivos estados de infecciosidade e geram respectivos novos estados de infecciosidade. A determinação dos respectivos estados correntes de infecciosidade será descrita em maiores detalhes com referência a Figura 3. Adicionalmente, a geração dos respectivos novos estados de infecciosidade será descrita em maiores detalhes com referência a Figura 5.

Com referência agora a Figura 3 é um fluxograma que representa um método ilustrativo 300 para determinar uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10 (ver Figura 1) e determinar uma ou mais medidas preventivas baseadas nas uma ou mais falhas em cascata. O método inicia na etapa 302 onde os respectivos dados de monitoração em tempo real são gerados por uma pluralidade de camadas de monitoração. Como observado previamente, os dados de monitoração em tempo real, por exemplo, incluem alarmes de status, alarmes de violação de limite, quedas de energia, fatores de distribuição de queda de energia, topologia da rede, estado operacional, ou algo semelhante. A pluralidade de camadas de monitoração, por exemplo, pode ser as camadas de monitoração 26, 28, 30 (ver Figura 1). Os respectivos dados de monitoração em tempo real podem ser gerados pelas camadas de monitoração através da observação das características em tempo real, tais como, tensões, temperaturas e corrente dos respectivos um ou mais componentes da malha de energia. Os componentes da malha de energia, por exemplo, podem ser os componentes da malha de energia 20, 22, 24. Adicionalmente, os dados de monitoração em tempo real, por exemplo, podem ser dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 (ver Figura 1). Também, as características de tempo real, por exemplo, podem ser características de tempo real 21, 23, 25 (ver Figura 1).

Além disso, na etapa 304, a pluralidade de agentes recebe os

respectivos dados de monitoração em tempo real a partir das respectivas camadas de monitoração. Por exemplo, como mostrado na Figura 1, o agente 38 recebe os respectivos dados de monitoração em tempo real 32 da respectiva camada de monitoração 26, o agente 40 recebe os respectivos dados de monitoração em tempo real 34 da respectiva camada de monitoração 28 e o agente 42 recebe os respectivos dados de monitoração em tempo real 36 da respectiva camada de monitoração 30. Como mostrado na Figura 3, na etapa 305, a pluralidade de agentes pode determinar respectivos estados de infecciosidade corrente. Como usado neste documento, o termo “estado de infecciosidade corrente” pode ser usado para referenciar ao estado de infecciosidade presente de um agente ou um estado operacional presente de um agente. Os estados de infecciosidade correntes podem incluir um estado morto, um estado normal, um estado com falha, um estado com falha oculta, um estado recuperado, e assim por diante. A pluralidade de agentes pode determinar respectivos estados de infecciosidade correntes baseado nos respectivos dados de monitoração em tempo real recebidos. Por exemplo, como mostrado na Figura 1, o agente 38 determina o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 baseado nos respectivos dados de monitoração em tempo real 32, o agente 40 determina o respectivo estado de infecciosidade corrente baseado nos respectivos dados de monitoração em tempo real 34 e o agente 42 determina o respectivo estado de infecciosidade corrente baseado nos respectivos dados de monitoração em tempo real 36.

Para facilidade de entendimento, a etapa 305 será explicada para determinar o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 pelo agente 38 da Figura 1. Entretanto, a etapa 305 pode ser usada por qualquer agente dentro do escopo do presente sistema e técnica para determinar o respectivo estado de infecciosidade corrente. A determinação do respectivo estado de infecciosidade corrente 33 pode ser entendida em maiores detalhes com

referência a Tabela 1 como mostrada abaixo.

TABELA 1

Estado operacional do componente da malha de energia baseado nos dados de monitoração em tempo real recebidos	Alarme de violação de limite que corresponde ao componente de malha de energia baseado nos dados de monitoração em tempo real recebidos	Estado de Infecciosidade Corrente
Não operacional	NÃO	Morto (D)
Não operacional	SIM	Morto (D)
Operacional	NÃO	Normal (N)
Operacional	SIM	Falha (F)
DESCONHECIDO	DESCONHECIDO	Normal (N) com probabilidade q ou com Falha Oculta (H) com probabilidade $(1-q)$

Como mostrado na Tabela 1, quando os dados de monitoração em tempo real recebidos 32 identificam o componente de malha de energia 20 correspondente em um estado não operacional e nenhum alarme de violação de limite que corresponda ao componente de malha de energia 20, então o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado morto. Adicionalmente, quando os dados de monitoração em tempo real recebidos 32 identificam o respectivo componente de malha de energia 20 como não operacional e é gerado um alarme de violação de limite que corresponde ao componente de malha de energia 20, então o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado morto. Também, quando os dados de monitoração em tempo real recebidos 32 identificam o componente de malha de energia 20 correspondente como operacional e nenhum alarme de violação de limite que corresponda ao

componente de malha de energia 20, então o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado normal. Além disso, quando os dados de monitoração em tempo real recebidos 32 identificam o componente de malha de energia 20 correspondente como operacional e um ou mais alarmes de violação de limite que correspondem ao componente de malha de energia 20, então o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado em falha. De maneira similar, quando os dados de monitoração em tempo real 32 não têm informação relacionada ao estado operacional e alarmes de violação de limite que correspondem ao componente de malha de energia 20, então o estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado normal com uma probabilidade q ou um estado com falha oculta com uma probabilidade $(1 - q)$, onde q é um a probabilidade de observação. Em uma realização particular, quando não existe mecanismo de monitoração para avaliar o estado operacional e os alarmes de violação de limite que correspondem ao componente de malha de energia 20, então o estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado de falha oculta.

Subsequentemente, na etapa 306, um ou mais dos agentes determinam respectivos dados de saída. A determinação dos respectivos dados de saída por um agente será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 4. Na etapa 308, o um ou mais agentes geram novos estados de infecciosidade respectivos. Como observado previamente, o termo “novo estado de infecciosidade” pode ser usado para referenciar a um estado de infecciosidade potencial de um agente. Os novos estados de infecciosidade, por exemplo, podem incluir um estado normal, um estado de falha oculta, um estado de falha, um estado desconectado, um estado recuperado, e assim por diante. A geração de um novo estado de infecciosidade respectivo será explicada em maiores de talhes com referência a Figura 5.

Subsequente a geração dos respectivos novos estados de

ineficiência por um ou mais agentes na etapa 308, o indicador de falha em cascata 56 (ver Figura 1) pode ser gerado pela camada de diagnóstico 16 na etapa 310. Como usado neste documento, o termo “indicador de falha em cascata” pode ser usado para referenciar a um valor que identifica uma ou mais falhas em cascata em uma malha de energia de recuperação automática. Em uma realização a camada de diagnóstico 16 pode gerar o indicador de falha em cascata 56 baseado em uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. A uma ou mais falhas, por exemplo, podem ser determinadas baseadas nos novos estados de ineficiência e no diagrama de transição de estados 55. A geração de um indicador de falha em cascata será explicado em maiores detalhes com referência a Figura 7.

Além disso, na etapa 312, pode ser executada uma verificação para verificar a existência de uma ou mais falhas em cascata. A verificação pode ser executada baseada no indicador de falha em cascata gerada pela camada de diagnóstico 16. A verificação, por exemplo, pode ser executada pela camada de prevenção 18. Conseqüentemente, na etapa 312 quando o indicador de falha em cascata 56 indica a existência de falhas em cascata, então o controle pode ser transferido para a etapa 314. Na etapa 314, uma ou mais medidas preventivas podem ser determinadas pela camada de prevenção 18. A título de exemplo não limitante, as medidas preventivas podem incluir uma queda de carga automática, um ilhamento controlado, mudanças na topologia, uma religação da camada de agentes 14, ou algo semelhante. A determinação das medidas preventivas será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 8.

Entretanto, quando o indicador de falha em cascata 56 não indica a existência de falhas em cascata, então o controle pode ser transferido para a etapa 316. Na etapa 316, os respectivos estados de ineficiência correntes dos agentes podem ser atualizados. Os respectivos estados de ineficiência

correntes podem ser atualizados pelo equacionamento dos respectivos novos estados de infecciosidade dos agentes para os respectivos estados de infecciosidade correntes. Por exemplo, se o novo estado de infecciosidade de um agente é um estado de falha, então o estado de infecciosidade corrente do agente é equacionado para o estado de falha. Pode ser observado que a equação dos respectivos novos estados de infecciosidade para os respectivos estados de infecciosidade correntes indica uma mudança nos estados operacionais dos agentes. Além disso, na etapa 318, os respectivos dados de saída atualizados podem ser gerados baseados nos respectivos estados de infecciosidade correntes pelos agentes. A geração de dados de saída atualizados baseados em um respectivo estado de infecciosidade corrente por um agente será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 4. Subsequente a geração dos respectivos dados de saída atualizados pelos agentes, o controle pode ser transferido para a etapa 308 onde os novos estados de infecciosidade respectivos podem ser gerados pelos agentes. Assim, as etapas 308 a 312 são tipicamente repetidas.

A Figura 4 é um fluxograma que ilustra um processo ilustrativo 400 para determinar os respectivos dados de saída por um agente. Mais particularmente, o processo 400 descreve o processamento da etapa 306 e da etapa 318 da Figura 3 em maiores detalhes. Para facilidade de entendimento, a Figura 4 será explicada para determinação dos respectivos dados de saída pelo agente 38 da Figura 1. Entretanto, a Figura 4 pode ser usada por qualquer agente dentro do escopo do presente sistema e técnicas para determinação dos respectivos dados de saída.

Como mostrado na Figura 4, o numeral de referência 33 é representativo de um estado de infecciosidade corrente do agente 38. O estado de infecciosidade corrente 33, por exemplo, pode incluir o estado de infecciosidade corrente determinado na etapa 305 da Figura 3 ou o estado de

infecciosidade corrente atualizado na etapa 316 da Figura 3. Como observado previamente, o estado de infecciosidade corrente 33 pode incluir um estado morto, um estado normal, um estado de falha, um estado de falha oculta, um estado de recuperação, e assim por diante.

5 Além disso, na etapa 402, é executada uma verificação para verificar se o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado morto. Na etapa 402, se for determinado que o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado morto, então o controle é transferido para a etapa 404. Na etapa 404, o agente 38 pode não determinar os respectivos dados de saída 46 (ver Figura 1). Entretanto, na etapa 402, se
10 for determinado que o estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 não é um estado morto, então o controle pode ser transferido para a etapa 406. Na etapa 406, o agente 38 pode determinar os respectivos dados de saída 46 baseados no respectivo estado de infecciosidade corrente 33. A determinação dos respectivos dados de saída 46 baseados no respectivo estado de
15 infecciosidade corrente 33 pode ser entendida em maiores detalhes com referência a Tabela 2 como mostrada abaixo.

TABELA 2

Estado de infecciosidade corrente	Dados de saída/dados de saída atualizados
Normal (N) ou Recuperado	0
Falha (F)	$(1-\beta)$
Falha Oculta (H)	1

20 Como mostrado na Tabela 2, quando o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado normal ou um estado recuperado, então o respectivo dado de saída 46 do agente 38 é "0". Adicionalmente, quando o respectivo estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado de falha 38, então o respectivo dados de saída 46 do

agente 38 é “ $1-\beta$ ”, onde β é uma taxa de prevenção. A taxa de prevenção em um exemplo é um parâmetro de projeto que é dependente do componente de malha de energia 20 correspondente do agente 38 e da possibilidade de operadores individuais ou algoritmos de controle automatizados evitarem que o componente de malha de energia 20 fique em um estado de falha. Além disso, quando o estado de infecciosidade corrente 33 do agente 38 é um estado de falha oculta, então o dado de saída 46 que corresponde ao agente 38 é “1”.

Passando agora para a Figura 5, um fluxograma que representa um método ilustrativo 308 para a geração de um respectivo novo estado de infecciosidade por um agente na malha de energia de recuperação automática 10 é representado. Mais particularmente, a etapa 308 da Figura 3 é descrita em maiores detalhes. Pode ser observado que para facilidade de entendimento o método 308 descreve a geração do respectivo novo estado de infecciosidade 50 pelo agente 38 na malha de energia de recuperação automática 10 da Figura 1. Entretanto, o método 308 pode ser usado por qualquer agente, tal como, os agentes 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208 dentro do escopo do presente sistema e técnicas para geração do respectivo novo estado de infecciosidade.

O método continua na etapa 502, onde a respectiva lista de agentes vizinhos pode ser gerada pelo agente 38. A lista de agentes vizinhos, por exemplo, pode ser gerada baseada na topologia da rede da malha de energia de recuperação automática 10. Como observado anteriormente, o termo “agentes vizinhos” pode ser usado para se referenciar a pelo menos dois agentes, em que pelo menos um componente de malha de energia que corresponde a um dos agentes é conectado fisicamente ou operacionalmente dependente de pelo menos um componente de malha de energia que corresponde a outro agente. A lista de respectivos agentes vizinhos pode incluir uma ou mais identificações únicas de agentes vizinhos do agente 38. Daqui em diante, os termos “agentes vizinhos” e “vizinhos” serão usados

intercaladamente. A título de exemplo não limitante, o agente 38 pode determinar a lista de vizinhos baseado na topologia da rede nos dados de monitoração em tempo real 32. Como observado previamente com referência a Figura 1, o agente 38 determina o agente 40 como um vizinho uma vez que o respectivo componente de malha de energia 20 do agente 38 é conectado fisicamente ao respectivo componente de malha de energia 22 do agente 40.

Além disso, na etapa 504, o agente 38 transmite os respectivos dados de saída 46 do agente 40 que é vizinho do agente 38. Adicionalmente, na etapa 506, o agente 38 recebe os respectivos dados de saída 48 do agente 40. Em certas realizações, o agente 38 pode determinar um ou mais parâmetros 60 (ver Figura 1) nas etapas 508 e 510. Como observado previamente com referência a Figura 1, o um ou mais parâmetros podem incluir uma taxa de espalhamento, uma taxa de remoção do componente da malha de energia, uma probabilidade de observação, e assim por diante. Na etapa 508, o agente 38 determina a taxa de espalhamento de falha do respectivo componente de malha de energia 20 baseado nos dados de saída 48 recebidos do agente 40. A título de uma realização ilustrativa, a taxa de espalhamento de falha pode ser representada como mostrado na equação (1):

$$\delta = \frac{L_m + \frac{1}{|N_m| - \{z_i = 0 \text{ and } i \in N_m\}} \sum_{i \in N_m} z_i L_i}{L_m + \sum_{i \in N_m} L_i} \quad (1)$$

onde L_i é a carga corrente de um componente de malha de energia i , N_m denota vizinhos de um agente m , $|N_m| - \{z_i = 0 \text{ and } i \in N_m\}$ é a quantidade de componentes de malha de energia não operacionais, $\sum_{i \in N_m} z_i L_i$ é a carga corrente total nos componentes de malha de energia não operacionais que precisa ser transferida, e $\sum_{i \in N_m} L_i$ é a carga total nos componentes de malha de energia próximos. Pode ser observado da equação (1) que a taxa de espalhamento de falhas determinada por um agente é

dependente dos dados de saída recebidos dos vizinhos de um agente.

Além disso, na etapa 510, a taxa de remoção de componente de malha de energia e a probabilidade de observação podem ser determinadas pelo agente 38. Em uma realização, a taxa de remoção de componente de malha de energia e a probabilidade de observação podem ser determinadas baseadas no conhecimento do especialista. Em outra realização, a taxa de remoção de componente de malha de energia e a probabilidade de observação podem ser determinadas baseadas na análise de fluxo de energia. Em ainda outra realização, a taxa de remoção de componente da malha de energia e a probabilidade de observação podem ser determinadas baseadas em um ou mais métodos estatísticos baseados em dados históricos. Em certas realizações, a taxa de remoção de componente da malha de energia pode ser uma média das taxas de remoção de componentes da malha de energia que correspondem a um ou mais componentes da malha de energia.

Subsequentemente, na etapa 512, uma ou mais probabilidades de transição de estados podem ser determinadas pelo agente 38 baseadas na taxa de remoção de componente da malha de energia, na probabilidade de observação, na taxa de espalhamento de falha e no diagrama de transição de estados 55 (ver Figura 1). Como usado neste documento, o termo “probabilidade de transição de estado” pode ser usado para referenciar a uma probabilidade de um agente para mudar de um estado de infecciosidade corrente para outro estado de infecciosidade ou reter o estado de infecciosidade corrente. A determinação de uma ou mais probabilidades de transição de estados de um estado de infecciosidade corrente será explicada em maiores detalhes com referência a Figura 6.

Além disso, na etapa 514, o novo estado de infecciosidade 50 pode ser gerado pelo agente 38 baseado em uma ou mais das probabilidades determinadas na etapa 512. Em uma realização ilustrativa quando um estado

de infecciosidade corrente de um agente x_0 , então um novo estado de infecciosidade pode ser x_i quando a seguinte condição é satisfeita:

$$\sum_{m=1}^{i-1} v_i < RV \leq \sum_{m=1}^i v_i \quad (2)$$

onde v_i é uma probabilidade de transição de estados do estado de infecciosidade corrente x_0 para $x_i = 1, 2, \dots, n$ e n é um número total de probabilidades de transição de estados para outros estados de infecciosidade a partir do estado de infecciosidade corrente x_0 .

Com referência agora a Figura 6, um diagrama de transição de estados 55 para a determinação de probabilidades de transição de estados de um agente para mudar para outros estados de infecciosidade, é representado. Mais particularmente, a Figura 6 descreve a etapa 512 da Figura 15. Os numerais de referência 602, 604, 606, 608, 610 podem ser representativos de um estado de infecciosidade, um estado de infecciosidade corrente ou um estado de infecciosidade corrente atualizado de um agente, tal como, os agentes 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208. Como mostrado na Figura 6, o numeral de referência 602 é representativo de um estado normal, o numeral de referência 604 é representativo de um estado de falha, o numeral de referência 606 é representativo de um estado recuperado, o numeral de referência 610 é representativo de um estado de falha oculto. Como mostrado no diagrama de transição de estados 55, quando um estado de infecciosidade corrente de um agente, tal como, o agente 38 é o estado normal 602, então o agente 38 pode mudar para outros estados de infecciosidade incluindo o estado normal 602, o estado de falha 604, o estado desconectado 608 ou o estado de falha oculta 610.

Em uma realização, quando o estado de infecciosidade corrente ou um estado de infecciosidade corrente atualizado de um agente é um estado normal 602, então uma probabilidade de transição de estados 612 do estado

normal 602 para o estado de falha 604 pode ser determinada pela seguinte equação (3):

$$P_{NF} = (1 - \mu)q\delta \quad (3)$$

onde P_{NF} é uma probabilidade de transição de estados de um estado normal para um estado de falha, μ é a probabilidade de uma taxa de remoção de componente da malha de energia ou um componente da malha de energia se tornar não operacional, q é uma probabilidade de observação, e δ é uma taxa de espalhamento de falha. Além disso, uma probabilidade de transição de estados 614 do estado normal 602 para o estado desconectado 608 pode ser determinada pela seguinte equação (4):

$$P_{ND} = \mu \quad (4)$$

onde P_{ND} é uma probabilidade de transição de estados de um estado normal para um estado desconectado e μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional. Além disso, uma probabilidade de transição de estados 616 do estado normal 602 para o estado de falha oculta 610 pode ser determinado pela seguinte equação (5):

$$P_{NH} = (1 - \mu)(1 - q)\delta \quad (5)$$

onde P_{NH} é uma probabilidade de transição de estados de um estado normal para um estado de falha, μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional, q é uma probabilidade de observação, e δ é uma taxa de espalhamento de falha.

Adicionalmente, uma probabilidade de transição de estados 613 para um agente reter o estado normal 602 pode ser determinada pela seguinte equação (6):

$$P_{NN} = (1 - \mu)(1 - \delta) \quad (6)$$

onde P_{NN} é uma probabilidade de transição de estados de um agente para reter um estado normal, μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional e δ é uma taxa de

espalhamento de falha.

Em certas realizações, quando um estado de infecciosidade corrente ou um estado de infecciosidade corrente atualizado de um agente é um estado de falha 604, então o agente pode mudar para três estados de infecciosidade incluindo o estado recuperado 606, o estado desconectado 608 ou reter o estado de falha 604. Em uma realização, a probabilidade de transição de estados 618 do estado de falha 604 para o estado recuperado 606, pode ser determinado pela seguinte equação (7):

$$P_{FR} = (1 - \mu)r \quad (7)$$

onde P_{FR} é uma probabilidade de transição de estados de um estado de falha para um estado recuperado, μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional e r é uma taxa de recuperação. A taxa de recuperação, por exemplo, pode depender de medidas reparadoras tomadas pelos algoritmos de controle automatizados ou ações manuais tomadas pelos operadores de sistema e uma habilidade do componente da malha de energia para resistir e se recuperar de falhas intermitentes. De maneira similar, uma probabilidade de transição de estados 620 do estado de falha 604 para o estado desconectado 608 pode ser determinada pela seguinte equação (8):

$$P_{FD} = \mu \quad (8)$$

onde P_{FD} é uma probabilidade de transição de estados de um estado de falha para um estado desconectado, μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional. Em uma realização, uma probabilidade de transição de estados 621 para um agente reter o estado de falha 604 pode ser representada pela seguinte equação (9):

$$P_{FF} = (1 - \mu)(1 - r) \quad (9)$$

onde P_{FF} é uma probabilidade de transição de estados para um agente reter um estado de falha e r é uma taxa de recuperação. Também,

quando um estado de infecciosidade corrente ou um estado de infecciosidade corrente atualizado de um agente é o estado recuperado, então o agente pode mudar para dois estados de infecciosidade incluindo o estado normal 602 e o estado desconectado 608. Como mostrado na Figura 6, uma probabilidade de transição de estados 622 do estado recuperado 606 para o estado normal 602 pode ser determinado pela seguinte equação (10):

$$P_{RN} = (1 - \mu) \quad (10)$$

onde P_{RN} é uma probabilidade de transição de estados de um estado recuperado para um estado normal e μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional. De maneira similar, uma probabilidade de transição de estados 624 de um estado recuperado 606 para o estado desconectado 608 pode ser determinada pela seguinte equação (11):

$$P_{RD} = \mu \quad (11)$$

onde P_{RD} é uma probabilidade de transição de estados de um estado recuperado para um estado desconectado e μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional. Além disso, uma probabilidade de transição de estados 626 do agente para uma transição do estado de falha oculta 610 para o estado desconectado 608 pode ser determinado pela seguinte equação (12):

$$P_{HD} = \mu \quad (12)$$

onde P_{HD} é uma probabilidade de transição de estados de um estado de falha oculta para um estado desconectado e μ é uma probabilidade de um componente da malha de energia se tornar não operacional. Em uma realização, uma probabilidade de transição de estados 628 para um agente reter o estado de falha oculta 610 pode ser representado pela seguinte equação (13):

$$P_{HD} = (1 - \mu) \quad (13)$$

Pode ser observado que embora no diagrama de transição de estados contemplado presentemente 55, existe, cinco estados de infecciosidade 602, 604, 606, 618, 620, 621, 622, 624, 626, 628, uma quantidade de estados de infecciosidade e uma quantidade de probabilidades de transição de estados pode variar baseado na topologia de rede, ou semelhante.

A Figura 7 é um fluxograma que representa um método ilustrativo 310 para geração de um indicador de falha em cascata. Mais particularmente, a etapa 310 descreve o processo para gerar o indicador de falha em cascata 56 pela camada de diagnóstico 16 (ver Figura 1). Como observado previamente, o termo “indicador de falha em cascata” pode ser usado para se referir a um valor que identifica uma ou mais falhas em cascata em uma malha de energia de recuperação automática. O método inicia na etapa 702 onde o diagrama de transição de estados 55 pode ser recebido pela camada de diagnóstico 16. O diagrama de transição de estados 55, por exemplo, pode ser recebido de um agente, tal como, os agentes 38, 40, 42. Além disso, na etapa 702, a camada de diagnóstico 16 recebe novos estados de infecciosidade, tal como, os novos estados de infecciosidade 50, 52, 54 dos agentes 38, 40, 42.

Como mostrado na Figura 7, na etapa 703, a camada de diagnóstico 16 pode gerar uma lista de grupos de agentes, tal como, os agentes 38, 40, 42. Em uma realização, cada grupo de agentes inclui agentes que tem uma quantidade similar de vizinhos. Além disso, na etapa 704, uma ou mais equações algébricas diferenciais 58 podem ser geradas baseadas no diagrama de transição de estados 55 e os novos estados de infecciosidade 50, 52, 54. Em uma realização, as equações algébricas diferenciais 58 são geradas de modo que existe uma equação algébrica diferencial para cada grupo de agentes na lista e para cada um dos novos estados de infecciosidade 50, 52, 54. As equações algébricas diferenciais 58 que correspondem a um

grupo de agentes em que cada um dos agentes tem k vizinhos e um novo estado de infecciosidade S , por exemplo, pode ser geradas utilizando a seguinte equação (14):

$$\dot{x}_{S,k} = \sum_{\text{Input arcs}} v_{i,k} x_{i,k} - \sum_{\text{Output arcs}} v_{j,k} x_{j,k} \quad (14)$$

onde $\dot{x}_{S,k}$ é uma mudança em uma quantidade de agentes que tem um novo estado de infecciosidade S e tem k vizinhos, $v_{i,k}$ é uma probabilidade de transição de estados para um estado de infecciosidade i para o novo estado de infecciosidade S , $v_{j,k}$ é uma probabilidade de transição de estados do novo estado de infecciosidade S para outro estado de infecciosidade j . Por exemplo, uma equação algébrica (15) que corresponde a um grupo de agentes em que cada um dos agentes tem k vizinhos e para um novo estado de infecciosidade que é igual ao estado normal pode ser gerado baseado no diagrama de transição de estados 55.

$$\dot{x}_{N,k} = ((1-\mu)x_{Rk} + (1-\mu)(1-\delta)x_{Nk}) - ((1-\mu)q\delta x_{Fk} + \mu x_{Dk} + (1-\mu(1-q)\delta)x_{Hk} + (1-\mu(1-d))x_{Nk}) \quad (15)$$

Deve ser observado que uma quantidade de equações algébricas pode ser igual a um múltiplo da quantidade total de novos estados de infecciosidade e a quantidade total de grupos de agentes na lista. Além disso, na etapa 708, o um ou mais pontos de equilíbrio existentes podem ser determinados pela camada de diagnóstico 16. Os pontos de equilíbrio, por exemplo, podem ser determinados pelo equacionamento de cada uma das equações algébricas diferenciais 58 iguais a zero. Em outras palavras, os pontos de equilíbrio podem ser determinados pelo equacionamento de cada mudança na quantidade de agentes que tem um novo estado de infecciosidade S igual a zero. Além disso, na etapa 710, pode ser determinada uma estabilidade dos pontos de equilíbrio. A estabilidade dos pontos de equilíbrio pode ser determinada pela utilização de uma ou mais técnicas incluindo uma técnica de estabilidade Lyapunov, método Jacobiano, ou semelhantes.

Como mostrado na Figura 7 na etapa 712, um mapa de trajetória

pode ser gerado utilizando os pontos de equilíbrio. Em uma realização, o mapa de trajetória pode ser gerado baseado na estabilidade dos pontos de equilíbrio. O mapa de trajetória, por exemplo, pode ser gerado nos estados de infecciosidade correntes dos agentes 38, 40, 42 para os pontos de equilíbrio
5 baseado na estabilidade dos pontos de equilíbrio.

Subsequente à geração do mapa de trajetória, uma verificação pode ser executada na etapa 714 para determinar se existe uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática. A verificação pode ser executada através da análise do mapa de trajetória. Por exemplo, em
10 uma realização, quando o mapa de trajetória termina em um ponto de equilíbrio estável assintoticamente com uma quantidade total média de estados de Falha (F) e estados de Falha Oculta (H) para cada grupo de agentes com k vizinhos igual a zero então não há falha em cascata. De maneira similar, em outra realização, quando a trajetória termina em um ponto estável assintoticamente
15 com uma quantidade total média diferente de zero de estados de Falha (F) e Falha Oculta (H) para uma quantidade total de agentes na malha de energia de recuperação automática 10. Pode ser observado que a quantidade total de estados de Falha (F) e estados de Falha Oculta (H) é dada pelos pontos de equilíbrio.

20 Conseqüentemente, na etapa 714, é verificado que não existem falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10, então o controle é transferido para a etapa 716. Na etapa 716, pode ser gerado o indicador de falha em cascata 56 que notifica que não existe nenhuma falha em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Entretanto, na
25 etapa 714, se for verificado que existe uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10, então o controle pode ser transferido para a etapa 718. Na etapa 718, pode ser gerado o indicador de falha em cascata 56 que notifica uma ou mais falhas em cascata na malha de

energia de recuperação automática 10.

A Figura 8 é um fluxograma que representa um método ilustrativo 314 para determinar medidas preventivas pela camada de prevenção 18. Mais particularmente, o processo explica a etapa 314 da Figura 3. Como mostrado na Figura 8, o numeral de referência 56 é representativo de que o indicador de falha em cascata é gerado pela camada de diagnóstico 16 na etapa 310 da Figura 3 e etapas 716 ou 718 da Figura 7. Adicionalmente, o numeral de referência 58 é representativo das equações algébricas diferenciais que são geradas pela camada de diagnóstico 16 na etapa 704 da Figura 7. Como observado anteriormente, o indicador de falha em cascata pode ser usado para referenciar a um valor que identifica um ou mais falhas em cascata em uma malha de energia de recuperação automática. O método continua na etapa 802 onde a camada de prevenção 18 pode receber o indicador de falha em cascata 56 e as equações algébricas diferenciais 58 geradas pela camada de diagnóstico 16 (ver Figura 1).

Além disso, na etapa 804, é executada uma verificação para verificar se existe uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 100. Na etapa 804, se for verificado que não existe nenhuma falha na malha de energia de recuperação automática 10, então o controle pode ser transferido para a etapa 806. Na etapa 806, a camada de prevenção 16 pode declarar que não existe necessidade de medidas de prevenção. Pode ser observado que as medidas preventivas não são requeridas uma vez que não existam falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10. Como observado anteriormente com referência a Figura 1, as medidas preventivas podem ser uma ou mais etapas que podem variar uma taxa de prevenção e uma taxa de espalhamento de falha na malha de energia de recuperação automática. As medidas preventivas, por exemplo, podem incluir uma queda de carga automática, um ilhamento controlado,

mudanças na topologia, uma religação da camada de agentes 14, ou algo semelhante.

Entretanto, na etapa 804, é verificado que existe uma ou mais falhas em cascata na malha de energia de recuperação automática 10, então o controle pode ser transferido para a etapa 808. Na etapa 808, uma pluralidade de pontos de equilíbrio pode ser determinada pela camada de prevenção 18. Pode ser notado que os pontos de equilíbrio podem ser determinados para determinar um ou mais valores de parâmetros de entrada que podem resultar em estados de equilíbrio livre de falhas em cascata. A pluralidade de pontos de equilíbrio, por exemplo, pode ser determinada usando equações algébricas diferenciais 58. Em uma realização, a pluralidade de pontos de equilíbrio pode ser determinada através de análise matemática prévia e codificada para o sistema ou ser criada uma tabela com valores de prevenção e variação das taxas de espalhamento de falhas. Em certa realização, os pontos de equilíbrio podem ser determinados baseados em uma ou mais ferramentas de otimização, tal como, programação linear pode ser usada para determinar os valores ótimos para prevenção e taxas de espalhamento de falhas que maximize a taxa de abordagem para o equilíbrio livre de falhas em cascata para recuperação rápida ou minimização de custo de combustível para geradores dentro das fronteiras possíveis de prevenção e taxas de espalhamento de falha. Além disso, na etapa 810, uma ou mais medidas preventivas podem ser determinadas. As medidas preventivas, por exemplo, podem incluir uma queda de carga automática, um ilhamento controlado, mudanças na topologia, uma religação da camada de agentes 14, ou algo semelhante.

As várias realizações resultam em determinação de falhas ou defeitos potenciais nas malhas de energia. A aplicação das presentes técnicas resulta em uma determinação em tempo real das falhas ou defeitos potenciais

em malhas de energia. Além disso, o presente sistema e técnicas facilitam a determinação de falhas potenciais que podem resultar em falhas em cascata. As técnicas presentes também evitam interrupções em uma cidade, um país ou um continente. Também, as realizações habilitam as malhas de energia a se recuperar automaticamente antes da ocorrência de falhas ou defeitos nas malhas de energia.

Deve ser entendido que não necessariamente todos os objetivos ou vantagens descritos acima possam ser alcançados de acordo com uma realização particular. Assim, por exemplo, os indivíduos versados na técnica irão reconhecer que os sistemas e técnicas descritos neste documento podem ser incorporados ou executados de uma maneira que obtenha ou otimize uma vantagem ou grupo de vantagens como ensinado neste documento sem necessariamente alcançar outros objetivos ou vantagens como pode ser ensinado ou sugerido neste documento.

Embora a invenção tenha sido descrita em detalhes em conexão com apenas uma quantidade limitada de realizações, deve ser entendido facilmente que a invenção não é limitada a tais realizações reveladas. Em vez disso, a invenção pode ser modificada para incorporar qualquer quantidade de variações, alterações, substituições ou arranjos equivalentes não descritos até agora, mas que são coextensivos com o espírito e escopo da invenção. Adicionalmente, embora tenham sido descritas várias realizações da invenção, deve ser entendido que aspectos da invenção podem incluir apenas algumas das realizações descritas. Consequentemente, a invenção não deve ser vista como limitada pela descrição acima, mas sendo limitada apenas pelo escopo das reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA DETERMINAR O STATUS DE UMA MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA 10, sendo que o dito método compreende:

5 receber 304 respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 que correspondem a um ou mais componentes da malha de energia, em que um ou mais agentes 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208 são acoplados aos ditos componentes da malha de energia 212, 214, 222, 224;

determinar um respectivo estado de infecciosidade corrente 33
10 baseado nos dados de monitoração de tempo real 32, 34, 36 recebidos;

determinar 306 respectivos dados de saída 46, 48 baseado no respectivo estado de infecciosidade 33;

trocar 504, 506 os respectivos dados de saída 46, 48 com um ou mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208; e

15 gerar um novo estado de infecciosidade respectivo 50, 52, 54 baseado nos dados de saída trocados 46, 48 e em um diagrama de transição de estados 55.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, sendo que no dito método receber os respectivos dados de monitoração em tempo real 32,
20 34, 36 compreende:

gerar os respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 através de observar em tempo real as características 21, 23, 25 do um ou mais componentes da malha de energia 20, 22, 24; e

25 enviar os respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 para o respectivo agente 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, sendo que no dito método determinar os respectivos dados de saída 46, 48 compreende verificar se o estado de infecciosidade corrente 33 é um estado morto.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, sendo que no dito método trocar os respectivos dados de saída 46, 48 com um ou mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208 compreende:

transmitir os respectivos dados de saída 46, 48 para o um ou
5 mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208; e

receber os dados de saída 46, 48 que correspondem a um ou mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, sendo que no dito método gerar o novo estado de infecciosidade 50, 52, 54 respectivo
10 compreende:

gerar uma ou mais probabilidades de transição de estados baseadas em um ou mais parâmetros 60 e no diagrama de transição de estados 55; e

gerar o novo estado de infecciosidade respectivo 50, 52, 54
15 baseado em uma ou mais probabilidades de transição de estado.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, sendo que no dito método o um ou mais parâmetros 60 compreendem uma taxa de espalhamento de falha, uma taxa de remoção do componente da malha de energia, uma probabilidade de observação ou combinações destes.

20 7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, sendo que o dito método compreende adicionalmente:

determinar uma ou mais falhas em cascata baseado em um ou mais novos estados de infecciosidade e no diagrama de transição de estados;
e

25 gerar 718 um indicador de falha em cascata baseado na determinação de uma ou mais falhas em cascata.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, sendo que o dito método compreende adicionalmente determinar uma ou mais medidas

preventivas baseadas no indicador de falha em cascata.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, sendo que o dito método compreende adicionalmente:

atualizar o respectivo estado de infecciosidade corrente 33
5 através de equacionar o respectivo novo estado de infecciosidade 50, 52, 54
para o respectivo estado de infecciosidade corrente 33; e

gerar os respectivos dados de saída atualizados baseados no estado de infecciosidade corrente atualizado.

10. MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA
10 sendo que a dita malha compreende:

uma pluralidade de componentes de malha 20, 22, 24;

uma pluralidade de camadas de monitoração 26, 28, 30
acopladas aos componentes de malha de energia 20, 22, 24, em que as
camadas de monitoração 26, 28, 30 observam uma ou mais características em
15 tempo real 21, 23, 25 da pluralidade de componentes da malha de energia 20,
22, 24 para gerar os respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34,
36;

uma pluralidade de agentes 202, 204, 206, 208 acoplados
comunicativamente às camadas de monitoração 26, 28, 30, em que um ou
20 mais da pluralidade de agentes 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208:

recebe 304 os respectivos dados de monitoração em tempo real
32, 34, 36 que correspondem a um ou mais componentes da malha de energia,
em que um ou mais agentes 38, 40, 42 202, 204, 206, 208 são acoplados aos
ditos componentes da malha de energia 212, 214, 222, 224;

25 determina um respectivo estado de infecciosidade 33 baseado
nos dados de monitoração em tempo real recebidos 32, 34, 36;

determina 306 os respectivos dados de saída 46, 48 baseados no
respectivo estado de infecciosidade corrente 33;

troca 504, 506 os respectivos dados de saída 46, 48 com um ou mais agentes vizinhos 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208; e

gera um respectivo estado de infecciosidade novo 50, 52, 54 baseado nos dados de saída trocados 46, 48 e no diagrama de transição de

5 estados 55.

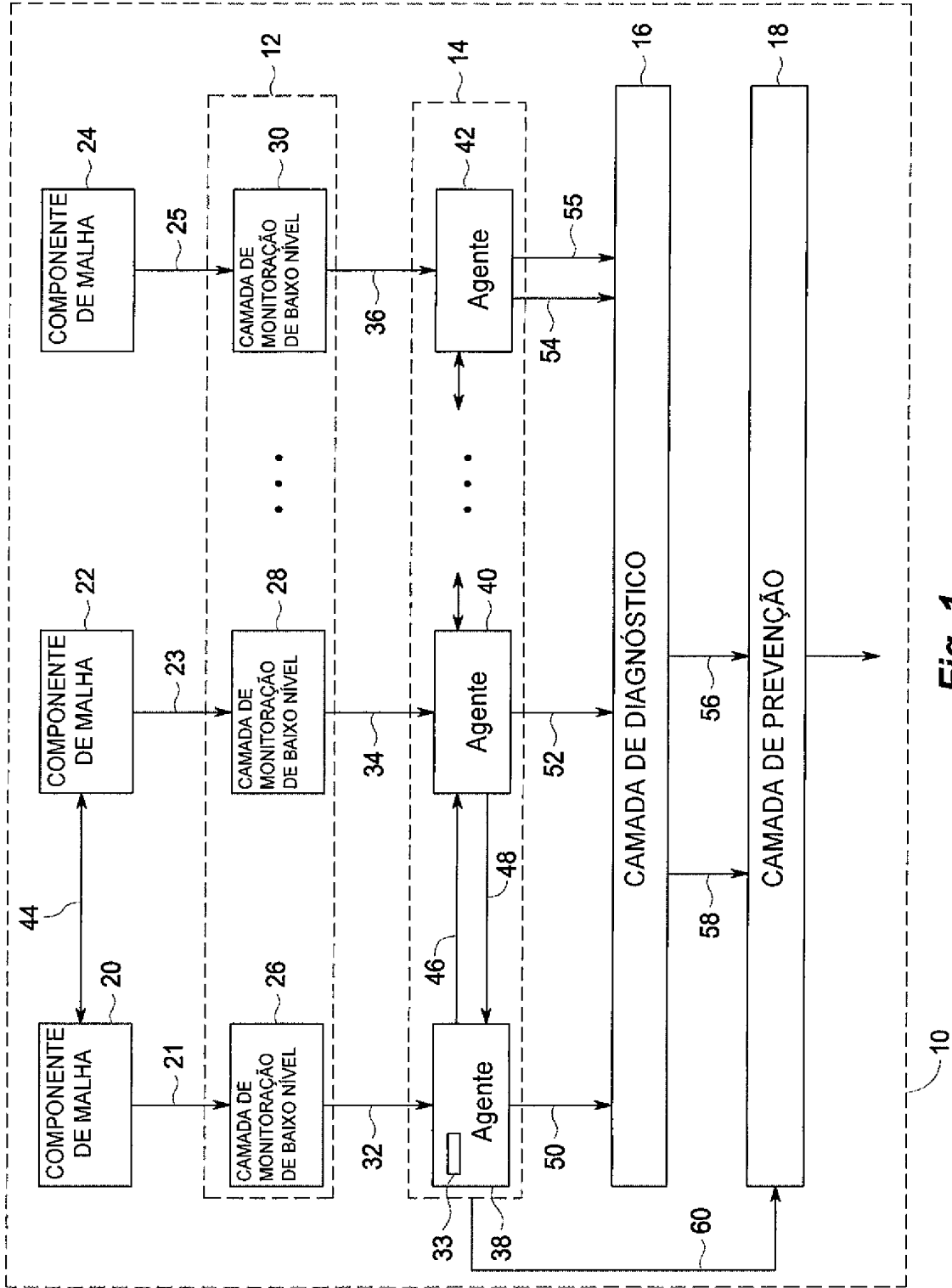


Fig. 1

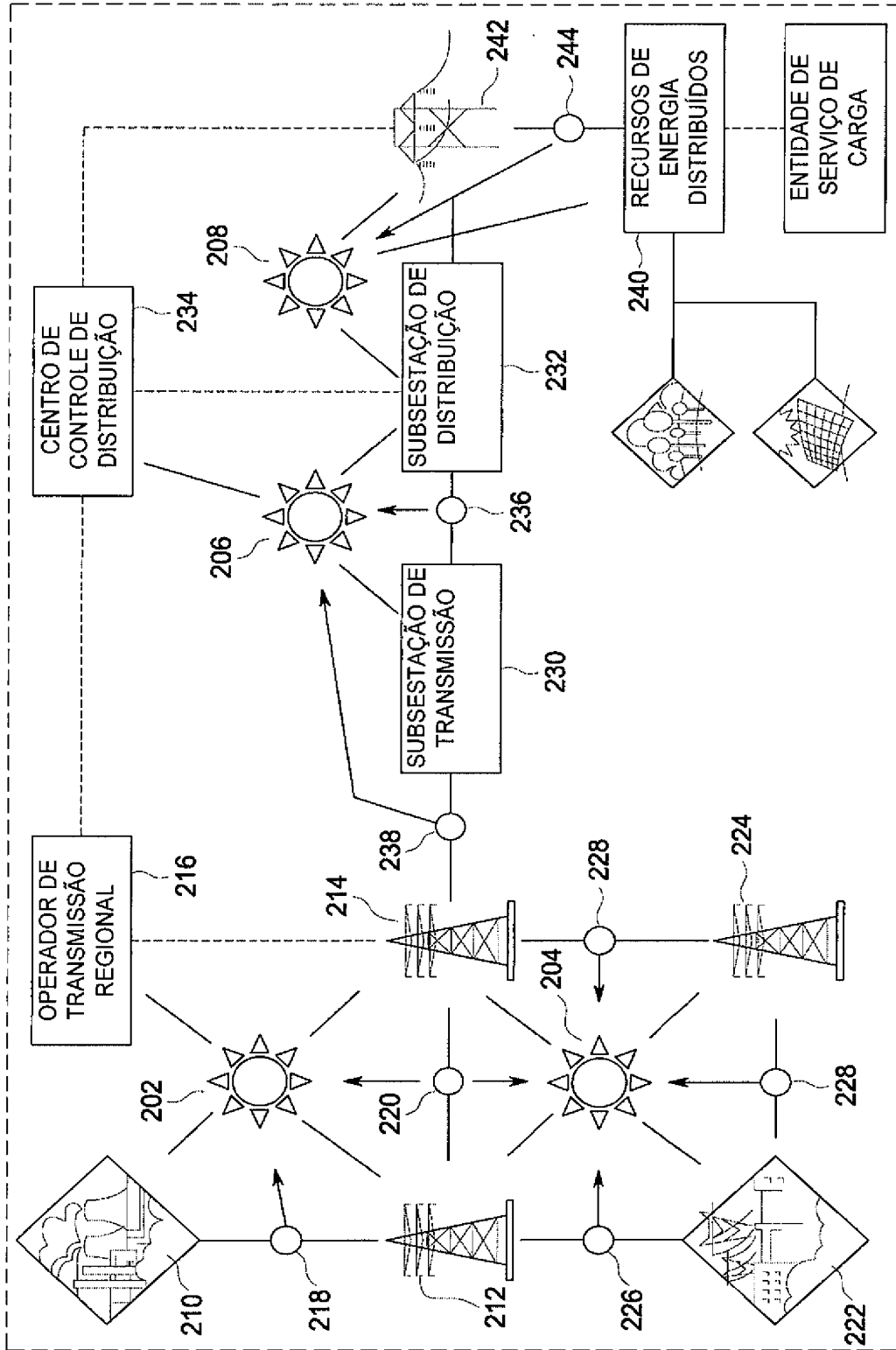


Fig. 2

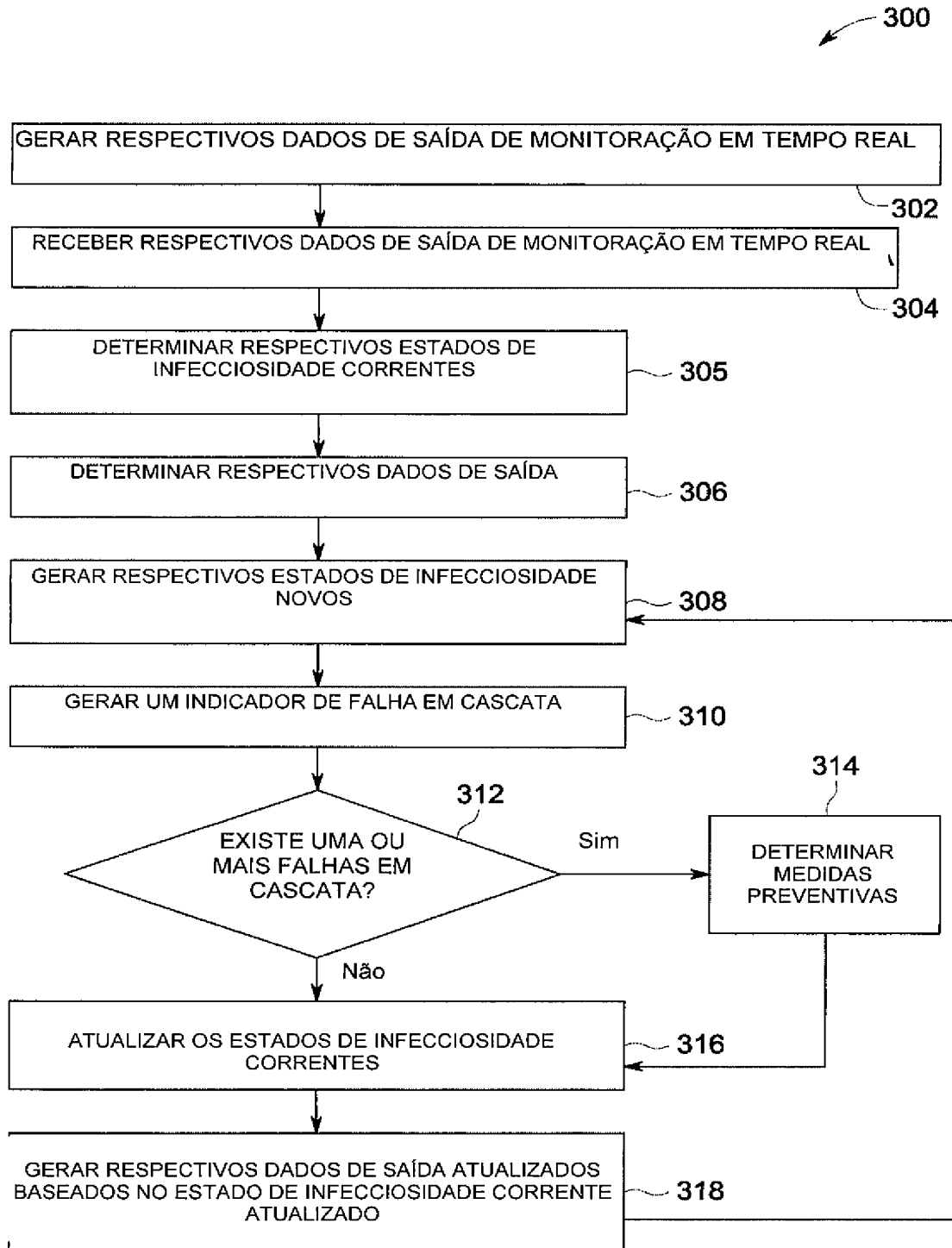
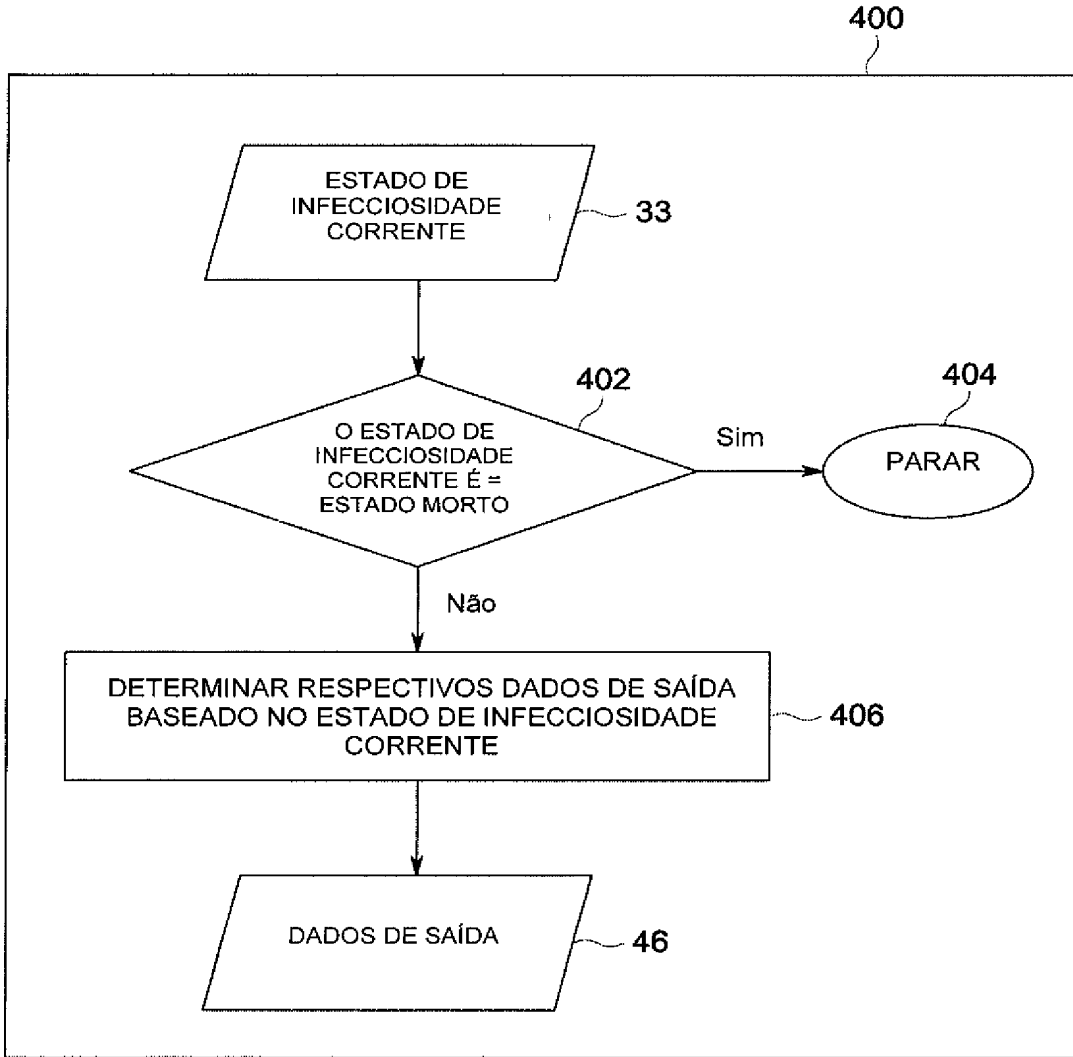


Fig. 3

**Fig. 4**

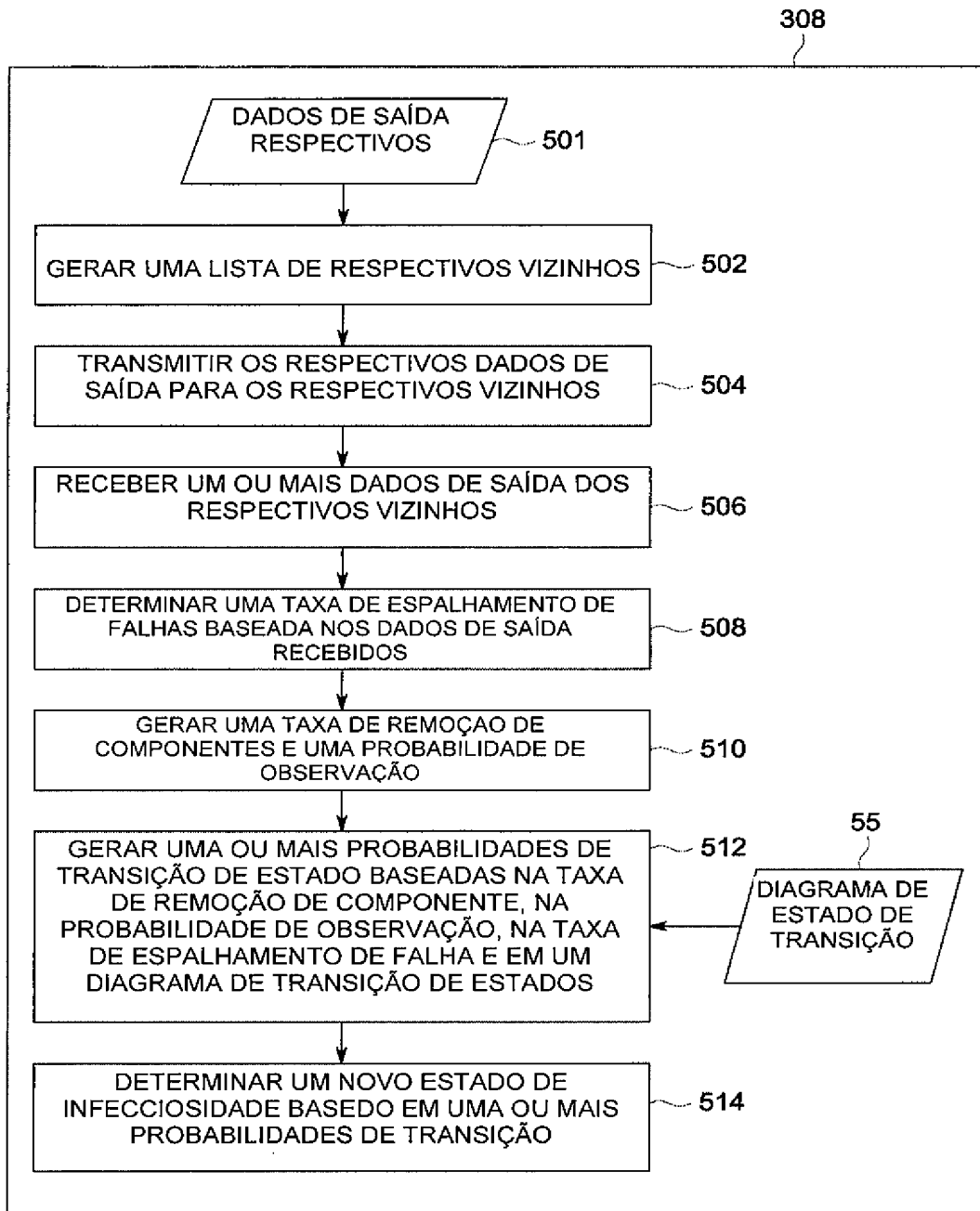


Fig. 5

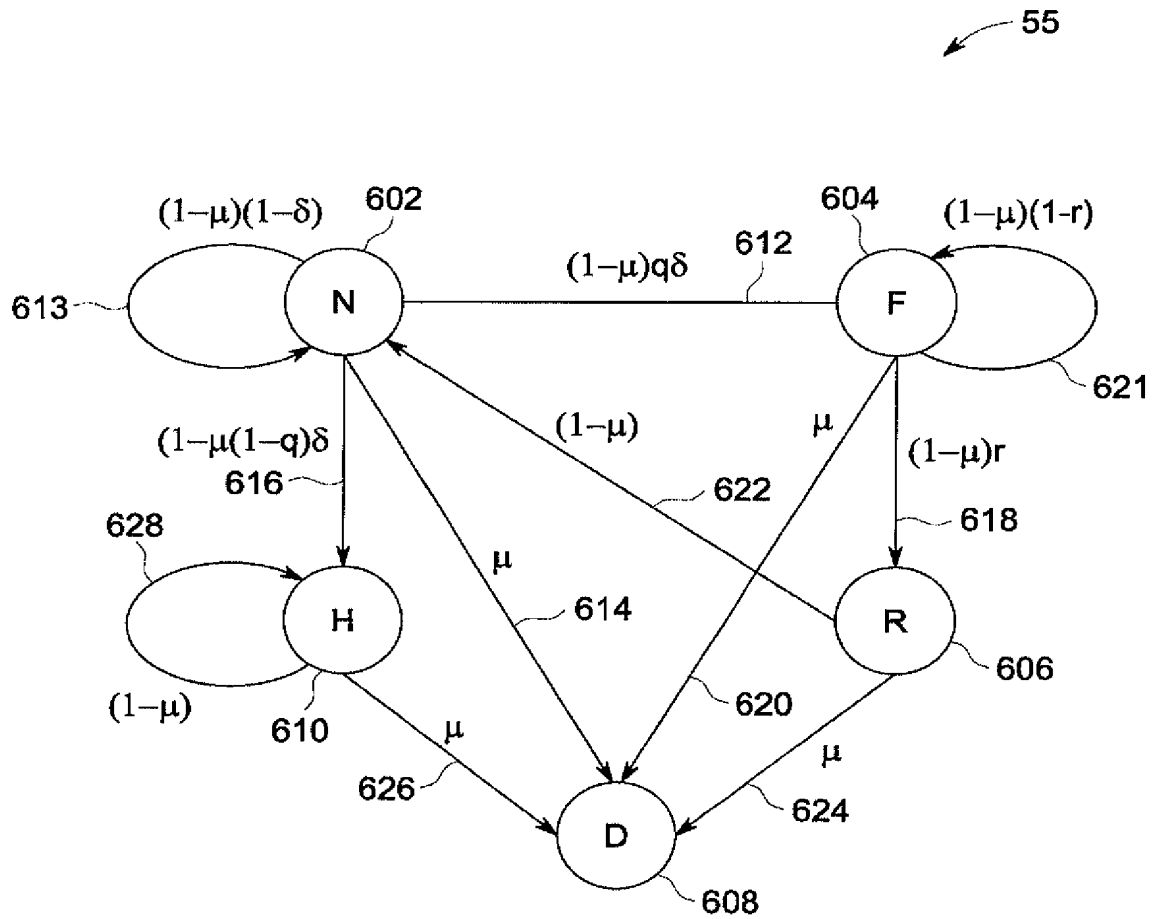


Fig. 6

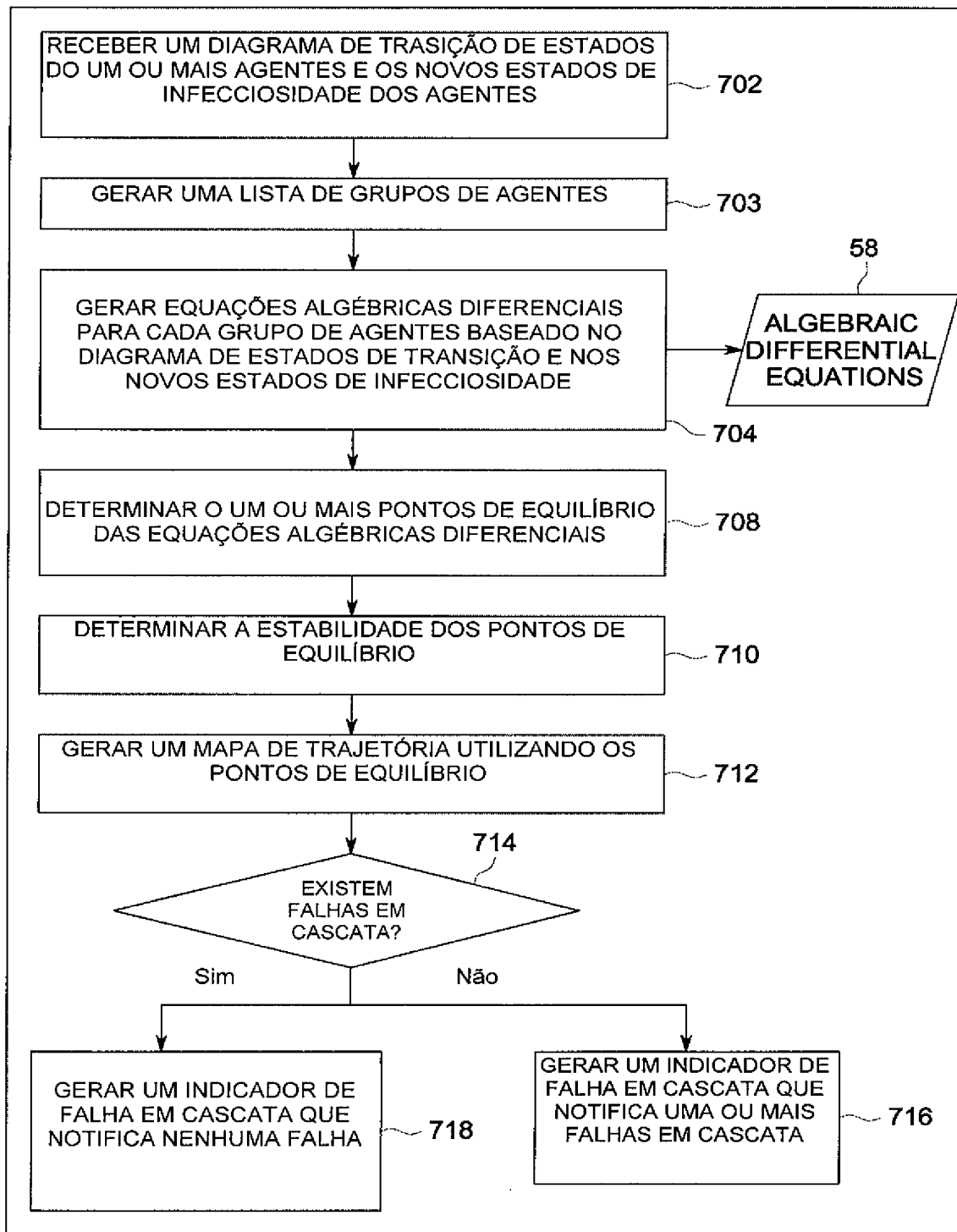
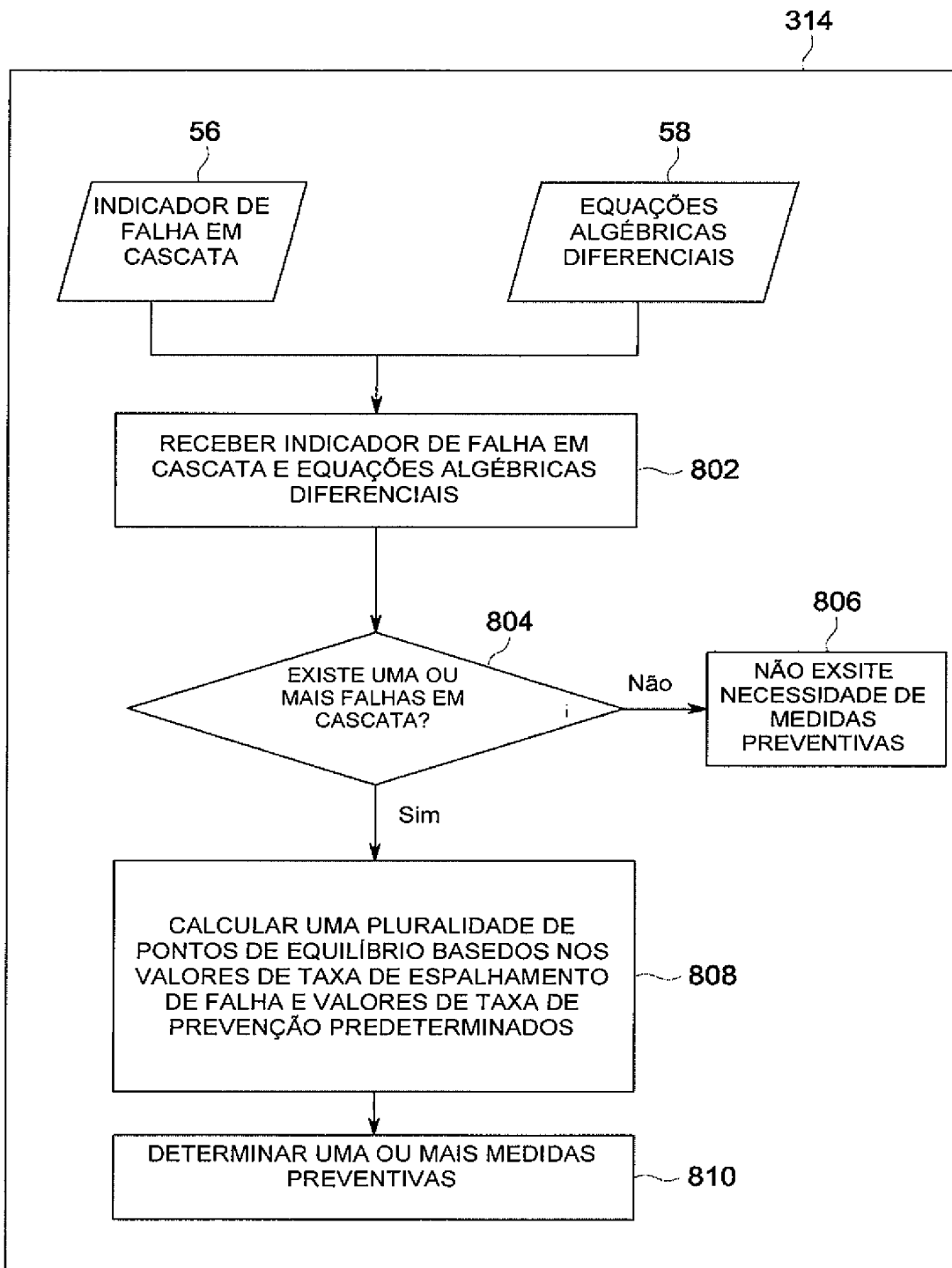


Fig. 7

**Fig. 8**

RESUMO**“MÉTODO PARA DETERMINAR O STATUS DE UMA MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA E MALHA DE ENERGIA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA”**

5 Trata-se um método para determinar um status de malha de energia de recuperação automática 10. Em que o método inclui receber 304 respectivos dados de monitoração em tempo real 32, 34, 36 que correspondem a um ou mais componentes da malha de energia 20, 22, 24, em que um ou mais agentes 38, 40, 42, 202, 204, 206, 208 são acoplados aos ditos

10 componentes da malha de energia 20, 22, 24, determinar 305 um respectivo estado de infecciosidade corrente 33 baseado nos dados de monitoração de tempo real 32, 34, 36 recebidos, determinar 306 respectivos dados de saída 46, 48 baseado no respectivo estado de infecciosidade 33, trocar 504, 506 os respectivos dados de saída 46, 48 com um ou mais agentes vizinhos 38, 40,

15 42, 202, 204, 206, 208, e gerar um novo estado de infecciosidade respectivo 50, 52, 54 baseado nos dados de saída trocados 46, 48 e em um diagrama de transição de estados 55.