



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

(21) **PI0706027-0 A2**



* B R P I 0 7 0 6 0 2 7 A 2 *

(22) Data de Depósito: 10/09/2007
(43) Data da Publicação: 15/03/2011
(RPI 2097)

(51) *Int.Cl.:*
B61L 3/00

(54) Título: **SISTEMA E MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO DE VIAGEM PARA UM TREM**

(30) Prioridade Unionista: 07/12/2006 US 11/608,066,
08/12/2006 US 11/608,257, 18/05/2007 US 11/750,716, 09/03/2007
US 60/894,006, 09/03/2007 US 60/894,006

(73) Titular(es): General Electric Company

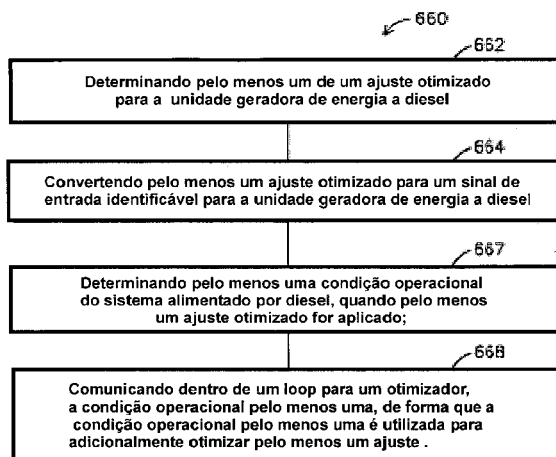
(72) Inventor(es): Ajith Kuttannair Kumar, Wolfgang Daum

(74) Procurador(es): Advocacia Pietro Ariboni S/C.

(86) Pedido Internacional: PCT US2007078026 de 10/09/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/073547 de 19/06/2008

(57) Resumo: Sistema e método de otimização de viagem para um trem. Um sistema de controle para operar um sistema de tração a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, o sistema incluindo um otimizador de missão, o qual determina ao menos um ajuste para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, um conversor que recebe ao menos uma informação que deve ser usada pela unidade de geração de potência alimentada a diesel e converte a informação em um sinal aceitável, um sensor para coletar ao menos um dado operacional, a partir do sistema de tração a diesel, o qual é comunicado para o otimizador de missão e um sistema de comunicação que empreende um íoop fechado de controle entre o otimizador de missão, o conversor e o sensor.



Sistema e método de otimização de viagem para um trem.

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS

Este pedido está baseado no pedido de patente provisório norte americano de número de série 60/894,006, e é uma "continuação em parte" do pedido de patente norte americano de número 11/385.354, depositado em 20 de Março de 2006.

CAMPO DA INVENÇÃO

O campo da invenção se refere à otimização das operações ferroviárias, e mais em particular ao monitoramento e ao controle das operações de um trem de modo a melhorar a eficiência, ao mesmo tempo em que satisfaz as restrições de agenda.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Os sistemas tracionados através de motores a diesel tais como, mas não limitados a, veículos fora de estrada, instalações marinhas de propulsão a diesel, sistemas estacionários atuados a diesel e os sistemas de veículos ferroviários, ou trens, normalmente são acionados através de uma unidade de geração de potência a diesel. Com relação aos sistemas dos veículos ferroviários, a unidade de potência a diesel é parte de ao menos uma locomotiva e o trem ainda inclui uma pluralidade de carros ferroviários, tais como os carros de transporte de carga. Normalmente é prevista mais de uma locomotiva sendo que as locomotivas são consideradas como uma consistência de locomotivas. As locomotivas são sistemas complexos com numerosos subsistemas, com cada subsistema sendo interdependente de outros subsistemas.

Um operador ou maquinista se encontra a bordo de uma locomotiva para garantir a correta operação da locomotiva e da sua carga associada de carros de frete. Ainda mais, para assegurar as operações apropriadas da locomotiva, o operador também é responsável pela determinação das velocidades operacionais do trem e as forças internas ao trem, do qual a locomotiva faz parte. Para realizar esta função, o operador, em geral, deve ter uma grande experiência na operação da locomotiva e dos diversos trens através do terreno especificado. Este conhecimento é necessário para que se satisfaçam as velocidades operacionais pré-estabelecidas, as quais podem variar de acordo com a localização do trem ao longo da linha. Além disto, o operador também é responsável por assegurar que as forças internas ao trem permaneçam dentro dos limites aceitáveis.

A figura 11 ilustra um diagrama de blocos de acordo com o estado da arte relativo à como um veículo é atualmente controlado. Um operador 649 controla o veículo ferroviário 653 através da movimentação manual de um dispositivo controlador mestre 651 até um ajuste específico. A despeito de ser ilustrado um controlador mestre, os peritos na arte irão prontamente perceber que podem ser

utilizados outros sistemas ao invés do controlador mestre 651. Portanto, o termo controlador mestre não tem a intenção de ser um termo limitativo. O operador 649 determina o ajuste ou a posição do controlador mestre 651 com base em uma diversidade de fatores incluindo, mas não limitados a, velocidade atual, velocidade desejada, requisitos em relação às emissões, esforço de tração, potência ou cavalos vapor desejados, as informações recebidas de forma remota, etc.

Contudo, mesmo com o conhecimento para garantir uma operação segura, o operador normalmente não pode operar a locomotiva de tal modo que o consumo de combustível seja minimizado em cada viagem. Por exemplo, outros fatores que devem ser considerados podem incluir as emissões, as condições operacionais do operador como ruído/vibração, uma combinação ponderada entre o consumo de combustível e as emissões, etc. Isto é difícil de ser conseguido visto que, como um exemplo, o tamanho e a carga do trem variam, as locomotivas e as suas características de combustível/emissões são diferentes, e as condições do clima e do tráfego variam. Os operadores poderiam operar um trem de modo mais eficiente se eles tivessem meios para determinar a melhor forma de conduzir o trem em um dado dia no modo a satisfazer os requisitos de agenda (horário de chegada) ao mesmo tempo em que pudessem utilizar a menor quantidade possível de combustível, apesar das fontes de variação.

Da mesma forma, os proprietários e/ou os operadores dos veículos fora de estrada, das instalações marinhas de propulsão a diesel e/ou dos sistemas estacionários atuados a diesel iriam apreciar os benefícios financeiros conseguidos quando estes sistemas acionados a diesel conseguem um consumo otimizado do combustível e uma emissão otimizada de forma a melhorar o consumo total de combustível ao mesmo tempo em que minimiza as emissões sempre dentro das restrições operacionais, tais como, mas não limitadas às exigências relativas ao tempo de viagem.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

As formas de realização da invenção descrevem um sistema de controle para operar um sistema de geração de potência a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. O sistema inclui um otimizador de missão, o qual determina ao menos um ajuste para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. Também é descrito um conversor que recebe ao menos uma informação que deve ser usada pela unidade de geração de potência alimentada a diesel e converte a informação em um sinal aceitável. É ainda descrito um sensor para coletar ao menos um dado operacional, a partir do sistema de tração a diesel, o qual é comunicado para o otimizador de missão. É também previsto um sistema de comunicação que empreende um loop fechado de

controle entre o otimizador de missão, o conversor e o sensor.

Uma outra forma de realização de exemplo da invenção descreve um método para controlar as operações de um sistema de tração a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. O método inclui uma etapa de determinar ao menos um ajuste otimizado para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. Uma outra etapa envolve converter ao menos um ajuste otimizado em um sinal de entrada reconhecível para a unidade de geração de potência alimentada a diesel. Mais uma outra etapa é a de determinar ao menos uma condição operacional do sistema de tração a diesel quando é aplicado ao menos um ajuste otimizado. Outra etapa inclui comunicar, dentro do loop fechado de controle, para um otimizador a ao menos uma condição operacional de tal forma que a ao menos uma condução operacional é ainda usada para otimizar o ao menos um ajuste.

Uma outra forma de realização de exemplo descreve um código de programa de computador para operar um sistema de tração a diesel apresentando um computador e ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. O código de programa de computador inclui um módulo de programa de computador para determinar ao menos um ajuste para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel. É ainda descrito um módulo de programa de computador para converter ao menos um ajuste otimizado em um sinal de entrada reconhecível para a unidade de geração de potência alimentada a diesel. Também é descrito um módulo de programa de computador para determinar ao menos uma condição operacional do sistema de tração a diesel quando é aplicado ao menos um ajuste otimizado. É além disto descrito um módulo de programa de computador para comunicar, dentro do loop fechado de controle, para um otimizador a ao menos uma condição operacional de tal forma que a ao menos uma condução operacional é ainda usada para otimizar o ao menos um ajuste.

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DESENHOS

Será ora feita uma descrição mais particularizada da invenção descrita supra de forma sucinta, com base em referência às formas específicas de realização desta, as quais são ilustradas nos desenhos em anexo. Compreendendo que estas figuras ilustram apenas as formas típicas de realização da invenção e, portanto, não devem ser consideradas como sendo limitativos do escopo, a invenção será ora descrita e explicada com especificidade e detalhamento adicionais através do uso dos desenhos que a acompanham, nos quais:

- A figura 1 mostra uma ilustração de exemplo de um diagrama de fluxo da presente invenção;
- A figura 2 mostra um modelo simplificado do trem, o qual pode ser empregado;

- A figura 3 mostra uma forma de realização de exemplo dos elementos da presente invenção;
- A figura 4 mostra uma forma de realização de exemplo da curva entre o uso de combustível e o tempo de viagem;
- 5 - A figura 5 mostra uma forma de realização de exemplo da decomposição em trechos para um pano de viagem;
- A figura 6 mostra um exemplo de uma forma de realização relativa a um exemplo de segmentação;
- A figura 7 mostra um exemplo de um diagrama de fluxo de uma forma de realização da presente invenção;
- 10 - A figura 8 mostra uma ilustração de exemplo de um mostrador dinâmico para uso pelo operador;
- A figura 9 mostra uma outra ilustração de exemplo de um mostrador dinâmico para uso pelo operador;
- 15 - A figura 10 mostra uma outra ilustração de exemplo de um mostrador dinâmico para uso pelo operador;
- A figura 11 ilustra um diagrama de blocos, relativo ao estado da arte, de como um veículo ferroviário é atualmente controlado;
- A figura 12 mostra uma forma de realização de exemplo de um sistema em loop fechado para operar um veículo ferroviário;
- 20 - A figura 13 mostra o sistema em loop fechado integrado com uma unidade de controle mestre;
- A figura 14 uma forma de realização de exemplo de um sistema em loop fechado para operar um veículo ferroviário integrado com um outro subsistema operacional de entrada do veículo ferroviário;
- 25 - A figura 15 mostra uma forma de realização de exemplo do controlador mestre como uma parte do sistema de controle em loop fechado; e
- A figura 16 mostra um exemplo de um diagrama de fluxo das etapas para operar um veículo ferroviário através de um processo em loop fechado.

30 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Agora será feita referência, em detalhes, às formas de realização consistentes com a invenção, exemplos das quais estão ilustradas nos desenhos em anexo. Sempre que possível, os mesmos números de referência usados nas diversas figuras se referem a partes iguais.

35 As formas de realização de exemplo da presente invenção serão descritas com relação a veículos ferroviários, especificamente trens e locomotivas que apresentam motores a diesel, sendo que as formas de realização de exemplo da invenção também são aplicáveis em outros usos, tais como, mas não limitado a, veículos

fora de estrada, embarcações marítimas e unidades estacionárias, cada uma das quais podendo empregar um motor a diesel. Neste sentido, quando se descreve uma missão específica, esta inclui uma tarefa ou solicitação a ser satisfeita pelo sistema dotado do motor a diesel. Portanto, com relação às aplicações em veículos ferroviários, navais ou
5 fora de estrada, esta pode se referir à movimentação do sistema de um local atual para um destino. No caso de aplicações estacionárias, tais como, mas não limitadas a estações de geração de energia estacionárias ou as redes de estações de geração de energia, uma missão específica pode se referir a uma certa potência (p. ex., MW/h) ou a outros parâmetros ou requisitos a serem satisfeitos pelo sistema acionado a diesel. Da
10 mesma forma, as condições operacionais da unidade geradora de energia acionada a diesel pode incluir pode compreender um ou mais entre velocidade, carga, valor do combustível, tempo, etc.

Em um exemplo de uma embarcação naval, uma pluralidade de rebocadores podem estar operando junto sendo que todos estão movimentando o
15 mesmo barco grande, sendo que cada rebocador está conectado no tempo para realizar a missão de mover o grande barco. Em uma outra forma de realização de exemplo, uma única embarcação naval pode apresentar uma pluralidade de motores. O veículo fora de estrada (OHV) podem compreender uma frota de veículos os quais tem a mesma
20 missão de se moverem pela terra, do local A para o local B, sendo que cada OHV está ligado no tempo para realizar a missão. Com relação a uma usina de geração de energia de tipo estacionária, uma pluralidade de usinas podem estar agrupadas gerando coletivamente energia para um local/propósito específico.

As formas de realização da presente invenção resolvem os problemas da arte através do fornecimento de um sistema, de um método e de um
25 método implementado através de um computador, tal como um código de software de computador, para determinar e implementar uma estratégia de condução. Com relação às locomotivas, as formas de realização de exemplo da presente invenção também podem ser executadas quando a consistência de locomotivas se encontra realizando uma operação na forma com tração distribuída.

As pessoas com proficiência na arte irão perceber que um dispositivo, tal como um sistema de processamento de dados, incluindo uma CPU, uma
30 memória, um dispositivo de entrada e saída I/O, um armazenador de programa, um barramento de conexão e outros componentes apropriados, poderia ser programado, ou de qualquer forma projetado, para facilitar a realização, na prática, do método da
35 invenção. Um tal sistema poderia incluir meios apropriados de programa para executar os métodos destas formas de realização.

Além disto, um artigo manufaturado, tal como um disco pré-gravado ou um produto de programa de computador semelhante, para uso em um

sistema de processamento de dados, poderia incluir um meio de armazenamento e meios de programa gravados neste, de modo a orientar o sistema de processamento de dados a permitir a realização, na prática, do método da invenção. Tais dispositivos e artigos manufaturados também estão incluídos dentro do espírito e do escopo da invenção.

Falando de forma geral, o efeito técnico é determinar e implementar uma estratégia de condução e/ou operação de um sistema alimentado a diesel para melhorar ao menos um certo requisito de parâmetro de critério operacional de certos objetivos ao mesmo tempo em que satisfaz as restrições devidas à programação ou a agenda. Para facilitar o entendimento, esta será descrita, daqui em diante, com referência a uma sua implementação específica. As invenções são descritas dentro do contexto geral das instruções executáveis por um computador, tais como os módulos de programa de computador, que são executados por um computador. De forma geral, os módulos de programa de computador incluem rotinas, programas, objetos, componentes, estruturas de dados, etc., os quais realizam tarefas em particular ou que implementam tipos particulares de dados abstratos. Por exemplo, os programas de computador consubstanciam as formas de realização de exemplo da invenção e podem ser codificados através de diversas linguagens, para uso em plataformas diferentes. Na descrição que segue, os exemplos da invenção podem ser descritos dentro do contexto de um portal web o qual emprega um navegador web. Contudo, poderá ser percebido que os princípios da invenção que formam a base das formas de realização de exemplo da invenção podem ser igualmente implementados através de outros tipos de tecnologias de programação de computador.

Ainda mais, os peritos na arte irão perceber que as formas de realização da presente invenção podem ser realizadas, na prática, através de outras configurações de sistemas de computador, incluindo os dispositivos portáteis ou *hand-held*, os sistemas de microprocessadores, os dispositivos eletrônicos baseados em microprocessadores ou programáveis pelo usuário, minicomputadores, computadores de tipo *mainframe*, e similares. As formas de realização de exemplo da invenção também podem ser realizadas na prática em ambientes de computação descentralizados, nos quais as tarefas são realizadas por dispositivos remotos de processamento e os quais estão ligados através de uma rede de comunicação. Em um ambiente de computação descentralizado, os módulos do programa podem estar localizados em meios de armazenamento de instruções de computador, tanto locais quanto remotos, incluindo as memórias de armazenamento. Estes ambientes de computação, tanto locais quanto remotos, podem estar totalmente contidos dentro da locomotiva, ou em locomotivas adjacentes à consistência, ou não embarcados nestas, às margens da linha ou em escritórios centrais, com os quais é utilizada uma comunicação sem fio ou através de

cabeamento.

Por todo este documento será empregado o termo consistência de locomotivas. Tal como ora empregado, uma consistência de locomotivas pode ser descrita como apresentando uma ou mais locomotivas em sucessão, ligadas entre elas de tal forma a fornecer uma capacidade motora ou de frenagem. As locomotivas estão ligadas entre elas quando não existem vagões ou carros ferroviários entre as locomotivas. O trem pode apresentar mais de uma consistência de locomotivas na sua composição. Especificamente, pode existir uma consistência líder e mais de uma consistência remota, tal como no meio da linha de vagões e outra consistência remota ao final do trem. Cada consistência de locomotivas pode apresentar uma primeira locomotiva e locomotiva(s) atrás desta. Como uma consistência de locomotivas é usualmente vista como uma sucessão de locomotivas, os peritos na arte irão prontamente perceber que um grupo de consistências de locomotivas também pode ser reconhecido como uma consistência mesmo quando um carro ou vagão separa as locomotivas, tal como quando a consistência de locomotivas é configurada para uma operação com tração distribuída, na qual os comandos de aceleração e de frenagem são disseminados a partir da locomotiva líder para os trens remotos através de um canal de radio ou de um cabo elétrico. Neste sentido, o termo consistência de locomotivas não deve ser considerado como um fator limitativo quando da descrição de diversas locomotivas dentro do mesmo trem.

Ora serão descritas as formas de realização da presente invenção, fazendo-se referência aos desenhos. As formas de realização de exemplo da invenção podem ser implementadas de diversas formas, incluindo um sistema (o qual inclui um sistema de processamento de dados), um método (o qual inclui um método computadorizado), um dispositivo, um meio passível de ser lido por um computador, um produto na forma de um programa de computador, uma interface gráfica para com o usuário, incluindo um portal web, ou uma estrutura de dados fixada de forma tangível em uma memória passível de ser lida por um computador. Abaixo serão descritas diversas formas de realização da invenção.

A figura 1 apresenta uma ilustração de exemplo de um diagrama de fluxo de uma forma de realização de exemplo da presente invenção. Tal como ilustrado, as instruções são entradas ou inserções específicas para o planejamento de uma viagem tanto a bordo quanto a partir de um local remoto, tal como um centro de expedição 10. Tais informações inseridas incluem, mas não estão limitadas à posição do trem, a descrição da consistência (tal como os modelos das locomotivas), a descrição da potência da locomotiva, a performance da transmissão de tração da locomotiva, o consumo de combustível pelo motor como uma função da potência útil transferida, as emissões do trem ou da locomotiva como uma função da velocidade pelo ajuste da

potência e das cargas dinâmicas, as características de refrigeração, a rota pretendida para a viagem (grau de inclinação efetivo e curvatura como uma função dos marcos ferroviários ou um componente de "grau de inclinação efetivo" para refletir a curvatura de acordo com o padrão para as práticas ferroviárias), o trem representado pela composição e pela carga junto com os coeficientes de arrasto efetivo, os parâmetros desejados para a viagem incluindo, mas não limitados a, o momento de início e a localização, o local de chegada, o tempo desejado de viagem, a identificação da tripulação (usuário e/ou operador), o final do turno da tripulação e a rota.

Estes dados podem ser fornecidos para a locomotiva 42 através de diversas formas, tais como, mas não limitadas a, um operador inserindo estes dados de forma manual na locomotiva 42 através de uma tela a bordo, as características fornecidas pelo fabricante ou pelo operador, a inserção de um dispositivo de memória tal como um cartão rígido e/ou um *drive* USB contendo os dados em um receptáculo ou conector a bordo da locomotiva, e através da transmissão das informações por meio de uma comunicação sem fio, a partir de um local 41 centralizado ou às margens da ferrovia, tal como um dispositivo de sinalização da linha e/ou um dispositivo marginal, para a locomotiva 42. As características de carga da locomotiva 42 e do trem 31 (p. ex., arraste) também podem ser alteradas durante a rota (p. ex., com a altitude, a temperatura ambiente e as condições dos trilhos e dos vagões), e o plano pode ser atualizado de modo a refletir tais mudanças, conforme necessário, através de qualquer um dentre os métodos supra descritos e/ou através da captura autônoma e em tempo real das condições do trem/locomotiva. Isto inclui, por exemplo, as mudanças detectadas nas características do trem ou da locomotiva detectadas pelo equipamento de monitoramento a bordo ou não da locomotiva(s) 42.

O sistema de sinalização de linha determina a velocidade permitida para o trem. Existem diversos tipos de sistemas de sinalização de linha e de regras operacionais associadas a cada um destes sinais. Por exemplo, alguns sinais são compostos por uma única luz (liga/desliga), alguns sinais são compostos por uma única lente com diversas cores, e alguns sinais apresentam diversas luzes e cores. Estes sinais podem indicar que a linha está livre e que o trem pode seguir com a velocidade máxima permitida. Estes também podem indicar que é necessária uma velocidade reduzida ou uma parada. Esta velocidade reduzida pode precisar ser efetivada imediatamente, ou em um certo local (p. ex., antes do próximo sinal ou cruzamento).

A situação do sinal é comunicada para o trem e/ou para o operador através de diversos meios. Alguns sistemas apresentam circuitos na linha e bobinas indutivas de captura dispostas nas locomotivas. Outros sistemas compreendem os sistemas de comunicação sem fio e/ou os sistemas de comunicação por meio de cabos. Os sistemas de sinalização também podem precisar que o operador, ou

maquinista, inspecione visualmente o sinal e tome a atitude apropriada.

Os sistemas de sinalização podem fazer uma interface com o sistema de sinalização a bordo e ajustar a velocidade da locomotiva de acordo com as entradas e com as regras operacionais apropriadas. Para os sistemas de sinalização que
5 requerem que o operador inspecione visualmente a situação do sinal, a tela do operador ira mostrar as opções apropriadas do sinal para o operador entrar, com base na localização do trem. O tipo de sistema de sinalização e de regras de operação, como uma função da localização, pode ser armazenado em um banco de dados 63 a bordo.

Com base na especificação dos dados de entrada nas
10 formas de realização de exemplo da presente invenção, é calculado um plano otimizado para produzir um perfil de viagem 12, o qual minimiza o uso de combustível e/ou as emissões produzidas, sujeito às restrições dos limites de velocidade ao longo da rota e considerando os horários de partida e de chegada. O perfil contém a velocidade otimizada e os ajustes de potência (marcha de trabalho) otimizados do trem que segue,
15 expressos como uma função da distância e/ou do tempo, e os limites operacionais do trem incluindo, mas não limitados a, os ajustes máximos para a marcha de trabalho e para a frenagem, e os limites de velocidade como uma função da localização, e o consumo de combustível e a geração de emissões que são esperados. Em uma forma de realização de exemplo, o valor do ajuste para a marcha de trabalho [*notch*] é
20 selecionado de modo a se obter as decisões de mudança de aceleração a cada período de 10 a 30 segundos. Os peritos na arte irão prontamente perceber que as decisões de mudança de aceleração podem acontecer em períodos maiores ou menores, se necessário e/ou desejado, de modo a seguir um perfil otimizado de velocidade. Em sentido amplo, deve ficar evidente para uma pessoa com proficiência na arte que os perfis fornecem os ajustes de potência para o trem, tanto ao nível do trem quanto ao
25 nível da consistência e/ou ao nível do trem individual. A potência compreende a força de frenagem, a força motriz e a força dos freios a ar. Em uma outra forma preferida de realização, ao invés de operar, de forma tradicional, com ajustes discretos para as marchas de trabalho, a forma de realização de exemplo da presente invenção está apta a
30 selecionar um ajuste contínuo da potência, o qual é determinado como sendo o otimizado para o perfil selecionado. Destarte, e por exemplo, se um perfil otimizado especifica um ajuste da marcha de trabalho de 6,8, ao invés de operar com um ajuste da marcha de trabalho de 7, a locomotiva 42 pode operar em 6,8. A possibilidade de se operar com ajustes de potência intermediários pode trazer benefícios adicionais para a eficiência, tal
35 como descrito abaixo.

O procedimento usado para computar o perfil ótimo pode ser através de qualquer um dos métodos de computação para uma seqüência de potência a qual guia o trem 31, de modo a minimizar o consumo de combustível e/ou as

emissões, desde que respeitados as restrições para a locomotiva e para a programação ou agenda de horários, tal como sintetizado abaixo. Em alguns casos, o perfil otimizado necessário pode ser muito próximo de um anteriormente determinado, devida à similaridade da configuração do trem, da rota e das condições ambientais. Nestes casos, pode ser suficiente consultar o guia de trajeto dentro do banco de dados 63 e tentar segui-lo. Quando não existe nenhum plano previamente computado, os métodos para calcular um novo incluem, mas não estão limitados a, calcular diretamente o perfil ótimo utilizando modelos de equações diferenciais os quais reproduzem, de forma aproximada, a movimentação física do trem. O ajuste envolve a seleção de uma quantidade de funções objetivas, usualmente uma soma ponderada (integral) das variáveis do modelo, as quais correspondem à taxa de consumo do combustível e de geração das emissões, mais um termo para penalizar uma variação excessiva da aceleração.

Uma fórmula otimizada de controle é acertada para minimizar a função quantitativa objetiva que é submetida às restrições incluindo, mas não limitada a, os limites de velocidade e os ajustes mínimo e máximo para a potência (aceleração). Dependendo dos objetivos do plano, a qualquer tempo, o problema pode ser ajustado de forma flexível de modo a minimizar o consumo de combustível sujeito as restrições das emissões e dos limites de velocidade, ou para minimizar as emissões sujeito às restrições de combustível e do horário de chegada. Também é possível ajustar, por exemplo, o objetivo de minimizar o tempo total de viagem sem as restrições relativas à quantidade total de emissões ou de uso de combustível, sendo que tal relaxamento das restrições poderia ser permitido ou necessário para a missão.

Por todo este documento, são apresentados exemplos de equações e de funções objetivas destinadas a minimizar o consumo de combustível da locomotiva. Estas equações e funções tem apenas o intuito de ilustração, posto que podem ser empregadas outras equações e funções objetivas para otimizar o consumo de combustível ou para otimizar outros parâmetros operacionais do trem/locomotiva.

O problema a ser solucionado pode ser posto mais precisamente de forma matemática. A física básica do movimento é expressa por:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v; x(0) = 0.0; x(T_f) = D \\ \frac{dv}{dt} &= T_e(u, v) - G_a(x) - R(v); v(0) = 0.0; v(T_f) = 0.0 \end{aligned}$$

na qual x é a posição de trem, v é a sua velocidade e t é o tempo (em milhas, milhas por hora e minutos ou horas, conforme apropriado) e u é o comando de entrada para a marcha de trabalho (aceleração). Além disto, D indica a distância a ser percorrida, T_f o horário desejado de chegada na distância D ao longo da linha, T_e é o esforço de tração produzido pela consistência de locomotivas, G_a é o arraste gravitacional o qual depende

do comprimento do trem, da composição do trem e do terreno no qual o trem está localizado, R é o arraste dependente da velocidade efetiva [*net speed*] da consistência de locomotivas e da composição do trem. As velocidades iniciais e finais também podem ser especificadas, mas sem perda do caráter genérico são tidas aqui como sendo zero (trem parado no início e no final). Por fim, o modelo é prontamente modificado para incluir outras dinâmicas importantes tais como o atraso entre uma mudança de aceleração, u , e do esforço de tração ou de frenagem resultante. Utilizando este modelo, uma fórmula de controle otimizada é acertada para minimizar a função objetiva quantitativa sujeita as restrições incluindo, mas não limitadas a, os limites de velocidade e os ajustes máximo e mínimo da potência (aceleração). Dependendo dos objetivos do plano, a qualquer tempo, o problema pode ser ajustado de forma flexível de modo a minimizar o consumo de combustível sujeito às restrições das emissões e dos limites de velocidade, ou para minimizar as emissões sujeito às restrições de combustível e do horário de chegada.

Também é possível acertar, por exemplo, o objetivo de minimizar o tempo total de viagem sem as restrições relativas à quantidade total de emissões ou de uso do combustível, sendo que tal relaxamento das restrições poderia ser permitido ou necessário para a missão. Todas estas medidas de performance podem ser expressas na forma de uma combinação linear entre qualquer um dos seguintes:

$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} F(u(t)) dt$	- Minimiza o consumo total de combustível
$\min_{u(t)} T_f$	- Minimiza o tempo de viagem
$\min_{u_i} \sum_{i=2}^{n_d} (u_i - u_{i-1})^2$	- Minimiza a marcha de trabalho (entrada constante ponto a ponto)
$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} (du / dt)^2 dt$	- Minimiza a marcha de trabalho (entrada contínua)

A substituição do termo do combustível F em (1) pelo termo correspondente à produção das emissões. Por exemplo, para as emissões

$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} E(u(t)) dt$	- Minimiza o total das emissões.
---------------------------------------	----------------------------------

Nesta equação, E é a quantidade de emissões em gramas por cavalo vapor-hora (g/hph) para cada uma das marchas de trabalho (ou ajustes de potência). Ainda mais poderia ser feita uma minimização com base no total ponderado do combustível e das emissões.

Uma função objetiva comumente empregada e representativa é a seguinte:

$$\min_{u(t)} \alpha_1 \int_0^{T_f} F(u(t)) dt + \alpha_3 T_f + \alpha_2 \int_0^{T_f} (du / dt)^2 dt \quad (\text{OP})$$

Os coeficientes da combinação linear dependem da importância (peso) dado a cada um dos termos. Quando o veículo opera com diversos tipos de combustível, é uma combinação da soma linear dos coeficientes do combustível de cada tipo de combustível, como será descrito com maiores detalhes abaixo. Note-se que na equação (OP), $u(t)$ é a variável de otimização que é a posição da marcha de trabalho contínua. Caso seja necessária uma marcha de trabalho discreta, p. ex., para locomotivas antigas, a solução da equação (OP) é tornada discreta, o que pode resultar em uma menor economia de combustível. Encontrar a solução de menor tempo (α_1 é fixado em zero e α_2 é fixado em zero ou em um valor relativamente pequeno) é usado para encontrar a menor ligação para o tempo de possível ($T_f = T_{\min}$). Neste caso, tanto $u(t)$ quanto T_f são as variáveis de otimização. A forma preferida de realização soluciona a equação (OP) para diversos valores de T_f com $T_f > T_{\min}$ com α_3 fixado em zero. Neste último caso, T_f é tratado como uma restrição.

Para aqueles que estão familiarizados com as soluções de tais problemas de otimização, pode ser necessário adicionar restrições, p. ex., os limites de velocidade ao longo da trajetória:

$$0 \leq v \leq SL(x)$$

ou quando se utiliza o tempo mínimo como o objetivo, uma tal restrição do ponto final deve aguardar, p. ex. o total de combustível consumido deve ser menor que aquele dentro do tanque, p. ex., por meio de:

$$0 < \int_0^{T_f} F(u(t)) dt \leq W_F$$

na qual W_F é a quantidade de combustível restante dentro do tanque. Os peritos na arte irão prontamente perceber que a equação (OP) pode estar em outras formas, assim como o quanto apresentado supra é um exemplo de equação para uso na forma de realização de exemplo da presente invenção.

As referências as emissões, no contexto das formas de realização de exemplo da presente invenção, de fato, são direcionadas para as emissões cumulativas produzidas na forma de emissões de óxido de nitrogênio (NO_x), de emissões de hidrocarbonetos não queimados, e particulados. Por projeto, cada locomotiva deve obedecer aos padrões de emissão da EPA, e assim, quando as emissões são otimizadas na forma de realização de exemplo da presente invenção, esta será a quantidade de emissões totais da missão para a qual não existe especificação hoje. Em qualquer momento, as operações devem obedecer aos regulamentos federais da EPA. Caso um objetivo chave, durante uma missão, seja o de reduzir as emissões, a fórmula de controle otimizada, equação (OP), deve ser aditada de modo a levar em consideração este objetivo da viagem. Uma flexibilização chave no ajuste da otimização é o de que todos e

quaisquer objetivos da viagem possam variar de acordo com a região ou com a missão. Por exemplo, para um trem de alta prioridade, um tempo mínimo pode ser o único objetivo em uma rota, devido a sua alta prioridade de trânsito. Como um outro exemplo, a geração das emissões pode variar de estado para estado, ao longo da rota planejada para o trem.

Para solucionar o problema resultante da otimização, uma forma de realização de exemplo da presente invenção transfere o problema do controle dinâmico otimizado, dentro do domínio do tempo, para um problema equivalente de programação de estatística matemática com N variáveis de decisões, na qual o número "N" depende da frequência com a qual são feitos os ajustes no acelerador e nos freios, bem como a duração da viagem. Para os problemas típicos, este N pode ser de milhares. Por exemplo, e em uma forma de realização de exemplo, pode-se supor um trem viajando por uma linha direta com 172 milhas [cerca de 275 Km] pelo sudoeste dos Estados Unidos. Empregando a forma de realização de exemplo da presente invenção, uma economia de, p. ex., 7,6% no consumo de combustível pode ser conseguida quando se compara uma viagem determinada e realizada utilizando a forma de realização de exemplo da presente invenção contra o histórico real de uso da aceleração/frenagem determinado por um maquinista. O aumento da economia é conseguido devido ao fato de que a otimização obtida através do uso da forma de realização de exemplo da presente invenção produz uma estratégia de condução tanto com um menor arraste quanto com uma perda por freios menor, ou nenhuma, quando em comparação com um plano de viagem de um maquinista ou operador.

Para tornar a otimização supra descrita passível de ser tratada por computador, deve ser empregado um modelo simplificado do trem, tal como o quanto ilustrado na figura 2 e nas equações supra descritas. Um refinamento chave do perfil otimizado é produzido através da condução de um modelo mais detalhado, no qual é gerada a seqüência de tração otimizada, de modo a testar se as demais restrições térmicas, elétricas e mecânicas são violadas, levando a um perfil modificado da velocidade pela distância que seja mais próximo a um deslocamento que pode ser conseguido sem danificar a locomotiva ou os equipamentos do trem, isto é, satisfazendo as restrições adicionais implícitas tais como os limites térmicos ou elétricos da locomotiva ou as forças internas aos vagões do trem.

Fazendo novamente referência a figura 1, uma vez que é iniciada a viagem, são gerados os comandos de tração de modo a colocar o trem em movimento. Dependendo do ajuste operacional para a forma de realização de exemplo da presente invenção, um comando é destinado a que a locomotiva siga o comando otimizado de tração de modo a atingir a velocidade otimizada. Uma forma de realização de exemplo da presente invenção obtém a velocidade real e as

informações de tração a partir da consistência 18 de locomotivas do trem. Devido as inevitáveis aproximações pelos modelos usados para a otimização, um cálculo em loop fechado das correções para a tração otimizada é obtido através do rastreamento da velocidade otimizada desejada. Tais correções dos limites operacionais do trem podem ser feitas de forma automática ou através do operador, o qual sempre tem o comando final do trem.

Em alguns casos, o modelo usado na otimização pode diferir significativamente do trem real. Isto pode acontecer por diversos motivos, incluindo mas não limitado a, alocação e encaminhamento de cargas extras, locomotivas que falham durante a rota, e a erros no banco de dados 63 inicial ou a entradas de dados errôneas feitas pelo operador. Por estas razões, é previsto um sistema de monitoramento o qual se utiliza de dados em tempo real para estimar os parâmetros da locomotiva ou do trem em tempo real 20. Os parâmetros estimados são então comparados com os parâmetros assumidos e que foram usados quando a viagem foi inicialmente criada 22. Baseado em qualquer diferença entre os valores assumidos e estimados, a viagem pode ser re-planejada 24, pelo que uma economia maior pode advir do novo plano.

Outras razões para que uma viagem venha a ser re-planejada incluem as diretivas emitidas por uma localidade remota, tal como pela expedição, e/ou do operador solicitando que uma mudança nos objetivos seja consistente com os objetivos mais globais de planejamento dos movimentos. Os objetivos mais globais de planejamento dos movimentos podem incluir, mas não estão limitados a, as programações ou as agendas de outros trens, para permitir que a exaustão se dissipe de um túnel, as operações de manutenção, etc. Outra razão pode ser devida a uma falha de um componente a bordo. As estratégias de re-planejamento podem ser agrupadas em ajustes incrementais e maiores, dependendo da seriedade do problema, tal como será descrito com maiores detalhes abaixo. Em geral, um "novo" plano deve ser derivado de uma solução da equação (OP) de otimização do problema supra descrito, mas freqüentemente podem ser encontradas soluções aproximadas mais rápidas, como aqui descrito.

Em operação, a locomotiva 42 irá continuamente monitorar a eficiência do sistema e atualizar continuamente o plano de viagem com base nas medições reais da eficiência, sempre que uma tal atualização possa melhorar a performance da viagem. Os cálculos para o re-planejamento da viagem podem ser realizados totalmente dentro da locomotiva(s) ou total ou parcialmente deslocados para um local remoto, tal como as instalações de processamento marginal ou de expedição, nas quais a tecnologia sem fio é utilizada para a comunicação dos planos para a locomotiva 42. A forma de realização de exemplo da presente invenção também pode gerar tendências eficientes às quais podem ser usadas para desenvolver os dados da

frota de locomotivas com relação às funções de transferência da eficiência. Os dados de toda a frota podem ser usados por ocasião da determinação do plano de viagem inicial, e podem ser usados na otimização da movimentação de toda a malha quando se considera a localização de diversos trens. Por exemplo, a curva relativa ao tempo de deslocamento em relação ao uso de combustível, tal como ilustrada na figura 4, reflete a capacidade de um trem, em uma rota em particular e em um dado momento, atualizada pelo conjunto de médias capturadas para diversos trens similares na mesma rota. Destarte, uma instalação central de expedição que coleta as curvas como as da figura 4, a partir de diversas locomotivas, poderia utilizar estas informações para coordenar, de uma forma melhor, a movimentação geral dos trens a fim de que se consiga uma vantagem ao nível de todo o sistema, em relação à economia de combustível ou deslocamento.

Durante as operações diárias, diversos eventos podem levar a necessidade de se gerar ou modificar o plano atualmente em execução, quando se pretende manter os mesmos objetivos da viagem, para quando um trem não se encontra dentro da sua agenda em relação ao encontro ou a passagem de outro trem, e este precisa recuperar o tempo. Utilizando os dados atuais de velocidade, tração e localização da locomotiva, é feita uma comparação entre o horário de chegada planejado e o horário de chegada 25 atualmente estimado (previsto). O plano 26 é ajustado com base na diferença entre os horários, assim como na diferença entre os parâmetros (detectados ou alterados pela expedição ou pelo operador). Este ajuste pode ser feito automaticamente, de acordo com a vontade da companhia ferroviária, em relação a como os desvios do plano devem ser tratados, ou propostas alternativas de forma manual, para o operador embarcado ou a expedição decidirem a melhor forma de voltar ao plano. Sempre que um plano é atualizado, mas não os seus objetivos, tal como, mas não limitado ao tempo restante para a chegada do mesmo, outras mudanças podem ser transformadas em fatores concorrentes, p. ex., mudanças nos novos limites de velocidade futuros, o que poderia afetar a possibilidade de se retornar ao plano original. Em tais casos, se o plano de viagem original não puder ser mantido, ou em outras palavras o trem não é capaz de cumprir com os objetivos do plano de viagem original, como aqui descrito, outros planos podem ser apresentados para um operador e/ou uma instalação remota, ou expedição.

Também pode ser feito um re-planejamento quando é desejado alterar os objetivos originais. Um tal re-planejamento pode ser feito tanto em intervalos determinados de tempo, de forma manual e de acordo com a discricionariedade do operador ou da expedição, quanto de forma autônoma quando são excedidos certos limites predefinidos, tais como os limites operacionais do trem. Por exemplo, se a execução do plano atual está atrasada mais que um valor predeterminado, tal como trinta minutos, a forma de realização de exemplo da presente invenção pode re-

planejar a viagem de modo acomodar o atraso às custas de um aumento do consumo de combustível, tal como supra descrito, ou para alertar o operador e a expedição sobre o quanto de tempo pode ser recomposto ao todo (isto é, qual o tempo mínimo de chegada ou qual a quantidade máxima de combustível que pode ser economizada dentro da restrição de tempo). Também podem ser previstos outros gatilhos de re-planejamento com base no combustível consumido ou na integridade da consistência de tração, incluindo, mas não limitado a, o horário de chegada, a perda de cavalos vapor devido a uma falha do equipamento e/ou a um mau funcionamento temporário do equipamento (tal como por uma operação em estado muito aquecido ou muito frio) e/ou pela detecção de erros na inserção de dados, tal como na carga assumida para o trem. Isto é, se a mudança se reflete de forma negativa em relação à performance da locomotiva para o restante da viagem, esta pode ser adicionada como um fator nos modelos e/ou nas equações usadas na otimização.

As mudanças nos objetivos dos planos também podem surgir da necessidade de se coordenar eventos, quando o plano para um trem compromete a capacidade de outro trem de cumprir com os objetivos e se faz necessária uma arbitragem em um nível diferente, p. ex., pelo escritório de expedição. Por exemplo, a coordenação dos encontros e passagens ainda pode ser otimizada através da comunicação direta de trem a trem. Assim, e como um exemplo, se um trem sabe que está atrasado para chegar a um local de encontro e/ou de passagem, as comunicações do outro trem podem informar o trem atrasado (e/ou a expedição). O operador pode então inserir a informação relativa ao fato de estar atrasado na forma de realização de exemplo da presente invenção, sendo que a forma de realização de exemplo da presente invenção irá recalculer o plano de viagem do trem. A forma de realização de exemplo da presente invenção também pode ser utilizada em um nível mais alto, ou ao nível da malha, de modo a permitir que uma expedição determinasse qual trem deveria reduzir de velocidade ou acelerar ou se uma restrição relativo há um tempo de passagem e/ou de encontro não precise ser cumprido. Como aqui descrito, isto é conseguido com trens que transmitem dados para a expedição de modo a determinar como cada trem deve alterar o seu objetivo de plano. Uma escolha deve depender tanto da agenda quanto da economia de combustível, dependendo da situação.

Para os re-planejamentos iniciados de forma automática ou manual, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem apresentar mais de um plano de viagem para o operador. Em uma forma de realização de exemplo, a presente invenção irá apresentar perfis diferentes para o operador, permitindo que o operador selecione o horário de chegada e compreenda o impacto em relação às emissões e a economia de combustível. Tais informações também podem ser fornecidas para a expedição para considerações similares, tanto na forma de uma lista simples com

alternativas ou como uma pluralidade de curvas operacionais, tal como ilustrada na figura 4.

A forma de realização de exemplo da presente invenção tem a capacidade de aprender e adaptar as mudanças chaves do trem e da consistência de tração, as quais podem ser incorporadas tanto no plano atual quanto em planos futuros. Por exemplo, um dos gatilhos descritos acima é a perda de potência. Quando da construção da potência em função do tempo, tanto após uma perda de potência quanto no início de uma viagem, é utilizada a transição lógica para se determinar quando é conseguida a potência necessária. Esta informação pode ser salva no banco de dados 61 da locomotiva para uso na otimização tanto em viagens futuras quanto no caso de uma nova perda de potência dentro da viagem atual.

A figura 3 ilustra uma forma de realização de exemplo dos elementos que podem ser parte de um exemplo do sistema. É previsto um elemento localizador 30 para determinar a localização do trem 31. O elemento localizador 30 pode ser um sensor GPS, ou um sistema de sensores, o qual determina a localização de trem 31. Exemplos de tais outros sistemas incluem, mas não estão limitados a, dispositivos marginais [ou seja, disposto a beira da linha ferroviária], tal como equipamentos automáticos por radio frequência de identificação de etiquetas (RF AEI), expedição e/ou determinação por vídeo. Outros sistemas podem incluir o tacômetro a bordo de uma locomotiva e cálculos de distância a partir de um ponto de referência. Tal com previamente descrito, pode também ser previsto um sistema de comunicação sem fio 47 para permitir as comunicações entre os trens e/ou com uma localidade remota, tal como a expedição. As informações acerca da localização da viagem também podem ser transferidas de outros trens.

Também é previsto um elemento de caracterização do trem 33 para fornecer as informações acerca de uma linha, principalmente as informações de grau e de elevação e de curvatura. Também podem ser incluídas, opcionalmente, as restrições da linha, tal como a carga transportável pela linha. O elemento de caracterização da linha 33 pode incluir um banco de dados 36 embarcado de integridade da linha. Os sensores 38 são usados para medir um esforço de tração 40 que está sendo aplicado pela consistência de locomotivas 42, o ajuste da aceleração da consistência de locomotivas 42, as informações sobre a configuração da consistência de locomotivas 42, a velocidade da consistência de locomotivas 42, a configuração individual das locomotivas, a capacidade individual das locomotivas, etc. Em uma forma de realização de exemplo, as informações de configuração da consistência de locomotivas 42 podem ser carregadas sem o uso de um sensor 38, mas são inseridas através de outros meios, tal como supra descrito. Além do mais, também pode ser levada em consideração à saúde das locomotivas. Por exemplo, se uma locomotiva da consistência não está apta a

operar acima da marcha de trabalho 5, esta informação é usada quando da otimização do plano de viagem.

A informação do elemento localizador também pode ser usada para determinar um horário de chegada apropriado para o trem 31. Por exemplo, caso exista um trem 31 se movendo pela linha 34 na direção de um destino e nenhum trem atrás deste, e o trem não tem um prazo determinado de chegada ligado a ele, o elemento localizador, incluindo mas não limitado a um equipamento automático por radio frequência de identificação de etiquetas (RF AEI), expedição e/ou determinação por vídeo, pode ser usado para gabaritar a exata localização do trem 31. Além do mais, as entradas destes sistemas de sinalização podem ser usadas para ajustar a velocidade do trem. Utilizando a banco de dados da linha no trem, descrito abaixo, bem como o elemento localizador, tal como um GPS, a forma de realização da presente invenção pode ajustar a interface do operador de modo a refletir o estado do sistema de sinalização em uma dada localização da locomotiva. Em uma situação na qual os estados dos sinais pudessem indicar velocidades restritas à frente, o planejador pode decidir reduzir a velocidade do trem para reduzir o consumo de combustível.

As informações do elemento localizador 30 também podem ser usadas para alterar os objetivos do planejamento como uma função da distância até o destino final. Por exemplo, devido as inevitáveis incertezas em relação ao congestionamento na rota, podem ser empregados os objetivos mais "rápidos" nas partes iniciais da rota como uma salvaguarda contra os atrasos, que estatisticamente acontecem posteriormente. Se isto acontecer em uma viagem em particular na qual não ocorram atrasos, os objetivos das partes posteriores da jornada podem ser modificados de modo a poder explorar o tempo previamente acumulado, e assim recuperar alguma economia de combustível. Uma estratégia similar poderia ser evocada para os objetivos restritivos em relação às emissões, p. ex., pela aproximação de uma área urbana.

Como um exemplo de uma estratégia de salvaguarda, se é planejada uma viagem de Nova Iorque até Chicago, o sistema pode ter a opção de operar o trem mais vagarosamente tanto no início da viagem ou no meio da viagem ou ao final da viagem. A forma de realização de exemplo da presente invenção iria otimizar o plano de viagem de modo a permitir uma operação mais vagarosa ao final da viagem, devido a restrições não conhecidas, tais como, mas não limitadas a, a condição do tempo, a manutenção de linhas, etc., que podem aparecer e se tornar conhecidas durante a viagem. Como uma outra consideração, caso sejam conhecidas áreas tradicionalmente congestionadas, o plano é desenvolvido com a opção de ter uma maior flexibilidade ao redor destas regiões tradicionalmente congestionadas. Portanto, a forma de realização de exemplo da presente invenção também pode levar em consideração ponderações/penalidades como uma função do tempo/distância para o futuro e/ou com

base em experiências passadas/conhecidas. Os peritos na arte irão prontamente perceber que um tal planejamento e re-planejamento, o qual leva em consideração as condições do tempo, as condições da linha, outros trens na linha, etc., pode ser levado em consideração a qualquer momento durante a viagem, pelo que o plano de viagem é
5 apropriadamente ajustado.

A figura 3 ilustra ainda outros elementos que podem fazer parte da forma de realização de exemplo da presente invenção. É fornecido um processador 44 de modo a operar para receber as informações do elemento localizador 30, do elemento de caracterização da linha 33 e dos sensores 38. Um algoritmo 46 opera
10 dentro do processador. O algoritmo 46 é utilizado para calcular um plano de viagem otimizado com base nos parâmetros que envolvem a locomotiva 42, o trem 31, a linha 34 e os objetivos da missão, tal como supra descrito. Em uma forma de realização de exemplo, é estabelecido o plano de viagem com base nos modelos do comportamento do trem conforme o trem 31 se move ao longo da linha 34 na forma de uma solução de
15 equações diferenciais não lineares derivadas da física com pressupostos de simplificação que são fornecidos no algoritmo. O algoritmo 46 tem acesso às informações do elemento localizador 30, do elemento de caracterização da linha 33 e/ou dos sensores 38 para gerar um plano de viagem que minimiza o consumo de combustível pela consistência 42, que minimiza as emissões da consistência de locomotivas 42, que estabelece um tempo
20 de viagem desejado e/ou que assegura um tempo de trabalho apropriado da tribulação a bordo da consistência de locomotivas 42. Na forma de realização de exemplo, também é previsto um condutor ou elemento de controle 51. Como aqui descrito, o elemento de controle 51 é usado para controlar o trem conforme este segue o plano de viagem. Em uma forma de realização de exemplo também aqui descrita, o elemento de controle 51
25 faz com que o trem opere a partir de decisões autônomas. Em uma outra forma de realização de exemplo, o operador pode ser envolvido na condução do trem para que este siga o plano de viagem.

Um requisito da forma de realização de exemplo da presente invenção é a capacidade de criar inicialmente e de modificar rapidamente em
30 curso qualquer plano que estiver sendo executado. Isto inclui gerar o plano inicial quando está envolvida uma longa distância, devido à complexidade do algoritmo de otimização do plano. Quando a distância total de um perfil de viagem excede um dado valor, pode ser usado um algoritmo 46 para segmentar a missão, sendo que a missão pode ser dividida por marcos do caminho. Apesar de ser descrito apenas um algoritmo 46, os
35 peritos na arte irão prontamente perceber que pode ser usado mais de um algoritmo, sendo que os algoritmos podem estar ligados entre eles. Os marcos podem incluir os locais naturais de parada dos trens 31, tais como, mas não limitados a, desvios laterais nos quais está agendado para acontecer, em uma linha de apenas um trilho, um

encontro com um trem que vem em direção oposta ou a ultrapassagem de um trem que vem atrás deste, ou em pátios de desvio ou nas indústrias nos quais os vagões devem ser retirados ou incluídos, e em locais de serviços planejados. Em tais marcos, o trem 31 pode ser instado a estar no local dentro de um horário agendado e parar ou se mover dentro de uma faixa específica de velocidades. A duração do tempo desde a chegada até a partida nos marcos é chamada de tempo de permanência.

Em uma forma de realização de exemplo, a presente invenção está apta a quebrar uma viagem longa em pequenos segmentos ou trechos de uma forma esquemática especial. Cada trecho pode apresentar um comprimento arbitrário, mas tipicamente é demarcado por pontos naturais tais como uma parada ou uma restrição significativa de velocidade, ou por marcos ferroviários chave os quais definem as junções com outras rotas. Dada uma partição, ou segmento, selecionado desta forma, é gerado em perfil de condução para cada trecho, como uma função do tempo de viagem como uma variável independente, tal como o quanto ilustrado na figura 4. O combustível consumido e/ou emissões/tempo de viagem associado a cada segmento pode ser computado antes do trem 31 alcançar o trecho da linha. Um plano de viagem total pode ser gerado a partir dos perfis de condução gerados para cada trecho. A forma de realização de exemplo da invenção distribui o tempo de viagem entre todos os trechos da viagem, de uma forma otimizada, de tal modo que o tempo de viagem requerido é cumprido bem como o total de combustível consumido e/ou as emissões, em relação a todos os trechos, é tão baixa quanto possível. Um exemplo de um segmento de viagem é ilustrado na figura 6 e descrito abaixo. As pessoas com proficiência na arte poderão perceber que, apesar de serem descritos trechos os segmentos, o plano de viagem pode compreender um único trecho que representa toda a viagem.

A figura 4 ilustra uma forma de realização de exemplo de uma curva do consumo de combustível em função do tempo de viagem. Como previamente citado, uma tal curva 50 é gerada quando do cálculo de um perfil otimizado da viagem para diversos tempos de viagem para cada trecho. Isto é, para um dado tempo de viagem 49, o combustível consumido 53 é o resultado de um perfil detalhado de condução, calculado tal como supra descrito. Uma vez alocados os tempos de viagem para cada trecho, é determinado um plano de tração/velocidade para cada trecho a partir das soluções previamente computadas. Caso existam quaisquer restrições de velocidade em locais específicos dos segmentos, tais como, mas não limitados a uma mudança no limite de velocidade, estes são indicados durante a geração do perfil otimizado da viagem. Se as restrições de velocidade mudam apenas em um segmento, a curva 50 do consumo de combustível em função do tempo de viagem deve ser recalculada somente para o segmento alterado. Isto reduz o tempo perdido para recalcular mais partes, ou trechos, da viagem. Se a consistência de locomotivas ou o trem mudam

significativamente ao longo da rota, p. ex., pela perda de uma locomotiva ou pela inserção ou retirada de um vagão, então os perfis de condução para todos os trechos subseqüentes devem ser recalculados, gerando novas instâncias da curva 50. Estas novas curvas 50 poderão então ser usadas junto a novos objetivos agendados para planejar o restante da viagem.

Uma vez gerado um plano de viagem, tal como supra descrito, uma trajetória da velocidade e potência pela distância é usada para alcançar o destino com um mínimo de combustível e/ou de emissões no tempo de viagem necessário. Existem diversas formas por meio das quais o plano de viagem é executado. Tal como esclarecido abaixo com maiores detalhes, em uma forma de realização de exemplo, e quando em um modo de instrução [*coaching mode*], as informações são apresentadas para o operador para que este as siga no intuito de alcançar a tração desejada e a velocidade determinada de acordo com o plano de viagem otimizado. Neste modo, as informações operacionais são condições operacionais sugeridas as quais o operador deve utilizar. Em uma outra forma de realização de exemplo, são realizadas a aceleração e a manutenção de uma velocidade constante. Contudo, quando o trem 31 deve reduzir de velocidade, o operador é responsável pela aplicação do sistema de freios 52. Em uma outra forma de realização de exemplo da presente invenção, os comandos de aceleração e de frenagem são fornecidos conforme necessários para se seguir a trajetória desejada velocidade/distância.

As estratégias de controle através de retorno ou feedback são usadas para realizar correções na seqüência de controle da tração do perfil de modo a corrigir eventos tais como, mas não limitados a, variações na carga do trem causadas por flutuações no fluxo de ar frontal ou no fluxo de ar de fuga ou traseiro. Um outro dentre estes tipos de erros pode ser causado por um erro nos parâmetros do trem, tal como, mas não limitado a, a massa do trem e/ou o arraste, quando comparado com os pressupostos do plano de viagem otimizado. Um terceiro tipo de erro que pode ocorrer é em relação à informação contida no banco de dados 36 do trem. Um outro tipo de erro pode envolver as diferenças de performance não modeladas devidas ao motor da locomotiva, a degradação térmica do motor de tração e/ou a outros fatores. As estratégias de controle através de retorno comparam a velocidade atual como uma função da posição com a velocidade desejada no perfil otimizado. Com base nesta diferença, é realizada uma correção no perfil de tração otimizado de modo a direcionar a velocidade atual na direção do perfil otimizado. Para assegurar uma regulagem estável, pode ser previsto um algoritmo de compensação, o qual filtra as velocidades de feedback das correções de tração para garantir a estabilidade próxima a da performance. A compensação pode incluir uma compensação dinâmica padrão, tal como a empregada pelos peritos na arte de projetos de sistemas de controle para alcançar os objetivos da

performance.

As formas de realização de exemplo da presente invenção capacitam os meios mais simples, e portanto mais rápidos, para acomodar as alterações nos objetivos da viagem, as quais são a regra e não a exceção, nas operações ferroviárias. Em uma forma de realização de exemplo para se determinar uma viagem com um consumo ótimo de combustível do ponto A ao ponto B, entre os quais existem paradas ao longo do caminho, e para atualizar a viagem para o restante da viagem uma vez que já tenha sido iniciada a viagem, pode ser usado um método de decomposição sub otimizado para encontrar o perfil otimizado da viagem. Utilizando os métodos de modelagem, o método de cálculo pode encontrar o plano de viagem dentro do tempo especificado da viagem bem como as velocidades inicial e final, de tal sorte a satisfazer todos os limites de velocidade e as restrições inerentes à capacidade da locomotiva quando existem paradas. Apesar da descrição seguinte estar direcionada para a otimização do consumo de combustível, esta também pode ser aplicada para otimizar outros fatores, tais como, mas não limitados a, emissões, agenda, conforto da tripulação, e impacto na carga. O método pode ser usado no começo do desenvolvimento de um plano de viagem, e de forma mais importante para adaptar os objetivos às mudanças após o início da viagem.

Tal como aqui descrito, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem empregar um ajuste, tal como o quanto ilustrado no diagrama de fluxo mostrado na figura 5, e como no exemplo de 3 trechos mostrado na figura 6. De acordo com o quanto ilustrado, uma viagem pode ser quebrada em dois ou três trechos T1, T2 e T3. Tal como aqui descrito, é possível considerar a viagem como um único trecho. Tal como também aqui descrito, a limitação dos trechos pode resultar em trechos diferentes. Pelo contrário, os segmentos podem estar baseados em limites específicos naturais ou da missão. Os planos de viagem otimizados são pré-computados para cada trecho. Caso o objetivo da missão a ser cumprido seja o de consumo de combustível em função do tempo, são construídos os gráficos ou curvas do consumo de combustível em função do tempo, para cada trecho. Como aqui descrito, as curvas podem estar baseadas em outros fatores (parâmetros) tal como supra descrito, sendo que estes fatores são objetivos a serem alcançados com o plano de viagem. Um de tais fatores pode ser a quantidade das emissões, quando podem ser consideradas as emissões em função da velocidade, e/ou podem ser consideradas as emissões em função da velocidade e da eficiência do consumo de combustível. Quando o tempo de viagem é o parâmetro que está sendo determinado, é calculado o tempo de viagem para cada trecho ao mesmo tempo em que é satisfeita a limitação relativa ao tempo total da viagem. A figura 6 ilustra os limites de velocidade para um exemplo de uma viagem 97 de 200 milhas [cerca de 320 Km] com três trechos. Também estão ilustradas as mudanças

de grau 98 através da viagem de 200 milhas. Também é mostrado um diagrama 99 ilustrando as curvas para cada trecho da viagem relativas ao combustível empregado em função do tempo de viagem.

Utilizando o ajuste otimizado de controle previamente descrito, o presente método de computação pode encontrar o plano de viagem com o tempo de viagem especificado e com as velocidades inicial e final, de modo a satisfazer todos os limites de velocidade e as limitações de capacidade da locomotiva quando existem paradas. Apesar da descrição detalhada que segue ser direcionada no sentido do uso de combustível, esta também pode ser aplicada para otimizar outros fatores, tal como aqui descrito, quais, por exemplo, as emissões. Uma flexibilidade chave é a de poder acomodar o tempo de parada desejado nas paradas e o de considerar as restrições a chegadas e partidas mais cedo, por exemplo, em locais que apresentam as operações em apenas uma linha férrea, quando os horários de chegada e de partida são críticos.

As formas de realização de exemplo da presente invenção identificam uma viagem com otimização do combustível em um percurso de D_0 até D_M , percorrido no tempo T , com $M-1$ paradas intermediárias em D_1, \dots, D_{M-1} , e com horários de chegada e de partida, nestas paradas, limitados por:

$$\begin{aligned} t_{\min}(i) &\leq t_{arr}(D_i) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i \\ t_{arr}(D_i) + \Delta t_i &\leq t_{dep}(D_i) \leq t_{\max}(i) \quad i = 1, \dots, M-1 \end{aligned}$$

na qual $t_{arr}(D_i)$, $t_{dep}(D_i)$ e Δt são a chegada, a partida e o tempo mínimo de parada na i^a parada, respectivamente. Assumindo que a otimização do combustível implica na minimização do tempo de parada, então $t_{dep}(D_i) = t_{arr}(D_i) + \Delta t$, o que elimina a segunda desigualdade acima. Supondo que para cada $i = 1, \dots, M$ é conhecida a viagem com otimização de combustível de D_{i-1} até D_i , para um tempo de deslocamento t , $T_{\min}(i) \leq t \leq T_{\max}(i)$. A função $F_i(t)$ é o uso de combustível que corresponde a esta viagem. Se o tempo de viagem de D_{j-1} até D_j é indicado por T_j , então o horário de chegada em D_i é dado por:

$$t_{arr}(D_i) = \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1})$$

na qual Δt_0 é definido como sendo zero. A viagem com otimização de combustível de D_0 até D_M para um tempo de deslocamento T é então obtida encontrando-se T_i , $i = 1, \dots, M$, o qual pode ser reduzido como

$$\sum_{i=1}^M F_i(T_i) \quad T_{\min}(i) \leq T_i \leq T_{\max}(i)$$

desde que

$$t_{\min}(i) \leq \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i \quad i = 1, \dots, M-1$$

$$\sum_{j=1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

Uma vez que a viagem está em andamento, o problema é o de se re-determinar a solução para a otimização do combustível para o restante da viagem (originalmente do tempo D_0 até D_M durante T) conforme a viagem é realizada, porém na qual problemas ou inconvenientes impedem que a solução de otimização de combustível seja seguida. Façamos com que a distância atual e a velocidade sejam x e v , respectivamente, sendo que $D_{i-1} < x < D_i$. Além disto, façamos com que o tempo atual, desde o início da viagem, seja t_{act} . Então, a solução de otimização do combustível para o restante da viagem de x até D_M , a qual mantém o horário de chegada original em D_M , é obtida encontrando-se $\tilde{T}_i, T_j, j = i+1, \dots, M$

o qual pode ser reduzido como:

$$\tilde{F}_i(\tilde{T}_i, x, v) + \sum_{j=i+1}^M F_j(T_j)$$

20

desde que

$$t_{\min}(i) \leq t_{act} + \tilde{T}_i \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$t_{\min}(k) \leq t_{act} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^k (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(k) - \Delta t_k \quad k = i+1, \dots, M-1$$

$$t_{act} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

na qual $\tilde{F}_i(\tilde{T}_i, x, v)$ é o combustível utilizado na viagem otimizada de x até D_i , percorrida no tempo t , com uma velocidade inicial v em x .

Tal como supra descrito, uma forma exemplificativa de permitir um re-planejamento mais eficiente é o de construir a solução otimizada para uma viagem parada a parada para trechos particionados. Para a viagem de D_{i-1} até D_i , com um tempo de percurso T_i , escolhe-se um conjunto de pontos intermediários $D_{ij}, j=1, \dots, N_{i-1}$. Façamos $D_{i0} = D_{i-1}$ e $D_{iN_i} = D_i$. Então, se expressa o uso de combustível para a viagem otimizada de D_{i-1} até D_i como

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(t_{ij} - t_{i,j-1}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(t_{ij} - t_{i,j-1}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

5

na qual $F_{ij}(t, v_{i,j-1}, v_{ij})$ é o combustível empregado na viagem otimizada de $D_{i,j-1}$ até D_{ij} , percorrida em um tempo t , com velocidades inicial e final de $v_{i,j-1}$ e v_{ij} . Além do mais, t_{ij} é o tempo durante a viagem otimizada o qual corresponde à posição ou distância D_{ij} . Por definição, $t_{iN_i} - t_{i0} = T_i$. Uma vez que o trem está parado em D_{i0} e D_{iN_i} , $v_{i0} = v_{iN_i} = 0$.

10

A expressão acima permite que a função $F_i(t)$ seja determinada, de forma alternativa, primeiramente determinando as funções $F_{ij}(\cdot)$, $1 \leq j \leq N_i$, e então encontrando τ_{ij} , $1 \leq j \leq N_i$, e v_{ij} , $1 \leq j \leq N_i$, o qual se reduz a

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(\tau_{ij}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

15

desde que

$$\sum_{j=1}^{N_i} \tau_{ij} = T_i$$

$$v_{\min}(i, j) \leq v_{ij} \leq v_{\max}(i, j) \quad j = 1, \dots, N_i - 1$$

20

$$v_{i0} = v_{iN_i} = 0$$

Através da escolha de D_{ij} (p. ex., nas restrições de velocidade ou nos pontos de encontro), $v_{\max}(i, j) - v_{\min}(i, j)$ pode ser reduzido, assim reduzindo o domínio em relação ao qual $F_{ij}(\cdot)$ precisa ser conhecido.

25

Com base na partição supra, uma solução sub otimizada de re-planejamento mais simples que aquela supra descrita é a de se restringir o re-planejamento para as ocasiões nas quais o trem se encontra nos pontos distantes D_{ij} , $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N_i$. No ponto D_{ij} , a nova viagem otimizada de D_{ij} até D_M pode ser determinada encontrando-se τ_{ik} , $j < k \leq N_i$, v_{ik} , $j < k < N_i$, e τ_{mn} , $i < m \leq M$, $1 \leq n \leq N_m$, v_{mn} , $i < m \leq M$, $1 \leq n < N_m$, o qual se reduz a

30

$$\sum_{k=j+1}^{N_i} f_{ik}(\tau_{ik}, v_{i,k-1}, v_{ik}) + \sum_{m=i+1}^M \sum_{n=1}^{N_m} f_{mn}(\tau_{mn}, v_{m,n-1}, v_{mn})$$

35

desde que

$$t_{\min}(i) \leq t_{acl} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$t_{\min}(n) \leq t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^n (T_m + \Delta t_{m-1}) \leq t_{\max}(n) - \Delta t_n \quad n = i+1, \dots, M-1$$

$$t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^M (T_m + \Delta t_{m-1}) = T$$

na qual

$$T_m = \sum_{n=1}^{N_m} \tau_{mn}$$

10

Uma outra simplificação é obtida fazendo aguardar a nova computação de $T_{m,i} < m < M$ até que seja alcançado o ponto a uma distância D_i . Desta forma, nos pontos D_{ij} entre D_{i-1} e D_i , a redução acima somente precisa ser realizada para $\tau_{ik,j} < k \leq N_i$, v_{ik} , $j < k < N_i$. T_i é incrementado, conforme necessário, para acomodar qualquer tempo de deslocamento atual, entre D_{i-1} e D_i , mais longo que o planejado. Este aumento é compensado mais tarde, se possível, através do novo cálculo de $T_{m,i} < m \leq M$, no ponto que dista de D_i .

Com relação à configuração em loop fechado supra descrita, a demanda total de energia necessária para mover um trem 31 de ponto A até o ponto B consiste da soma de quatro componentes, especificamente da diferença da energia cinética entre os pontos A e B; da diferença da energia potencial entre os pontos A e B; da perda de energia devida à fricção e outras perdas de arraste; e da energia dissipada durante a aplicação dos freios. Assumindo que as velocidades inicial e final devem ser iguais (p. ex., estacionárias), o primeiro componente é zero. Além do mais, o segundo componente é independente da estratégia de condução. Assim, é suficiente minimizar a soma dos dois componentes restantes.

Seguir um perfil de velocidade constante minimiza as perdas pelo arraste. Seguir um perfil de velocidade constante também minimiza a demanda total de energia posto que os freios não são necessários para se manter uma velocidade constante. Porém, se os freios são necessários para se manter uma velocidade constante, a aplicação dos freios exatamente para se manter uma velocidade constante irá provavelmente aumentar a energia total requerida devido à necessidade de recompor a energia dissipada pelos freios. Existe a possibilidade de que uma pouca de frenagem reduza o total de energia utilizada caso a perda pela frenagem adicional seja maior que a contrapartida obtida com a redução resultante pelas perdas de arrasto causadas pela frenagem, através da redução da variação de velocidade.

Após terminar o re-planejamento a partir da coleção de eventos supra descritos, o novo plano otimizado de velocidade/marcha de trabalho pode

ser seguido utilizando o controle por loop fechado aqui descrito. Porém, em algumas situações, quando pode não existir tempo suficiente para executar o planejamento decomposto em trechos supra descrito, e em particular quando existem restrições críticas de velocidade que devem ser respeitadas, é necessária uma alternativa. As formas de realização de exemplo da presente invenção conseguem isto através de um algoritmo referido como o "controle de cruzeiro inteligente" [*smart cruise control*]. O algoritmo do controle de cruzeiro inteligente é uma forma eficiente de gerar, durante o percurso, uma prescrição sub-otimizada de eficiência da energia (ou seja, eficiência do combustível e/ou eficiência das emissões), para conduzir o trem 31 por um terreno conhecido. Este algoritmo assume o conhecimento sobre a posição do trem 31 ao longo da linha 34 em todos os momentos, assim como o conhecimento do grau e da curvatura da linha em função da posição. O método recai sobre um modelo massa/ponto para a movimentação do trem 31, cujos parâmetros podem ser estimados, de forma adaptada, a partir das medições *on line* do movimento do trem, tal como precedentemente descrito.

O algoritmo de controle de cruzeiro inteligente apresenta três componentes principais, especificamente um perfil modificado do limite de velocidade, o qual se presta como um guia de eficiência de energia em relação às reduções do limite de velocidade, um perfil de ajuste da aceleração ideal ou da frenagem dinâmica o qual tenta um equilíbrio entre a minimização das variações de velocidade e a frenagem; e um mecanismo para combinar os dois últimos componentes de modo a produzir um comando para a marcha de trabalho, empregando um loop de retorno da velocidade para compensar as disparidades entre os parâmetros modelados quando em comparação com os parâmetros reais. O controle de cruzeiro inteligente pode acomodar estratégias, nas formas de realização de exemplo da presente invenção, as quais não ativam os freios (isto é, a guia é sinalizada e assumida a realizar a frenagem necessária) ou uma variante que não ativa os freios.

Com relação ao algoritmo de controle de cruzeiro inteligente que não controla os freios dinâmicos, os três componentes de exemplo são um perfil modificado do limite de velocidade, o qual se presta como uma guia de eficiência de energia em relação as reduções do limite de velocidade, um sinal de notificação direcionado de modo a informar ao operador quando os freios devem ser aplicados, um perfil ideal de aceleração o qual tenta obter um equilíbrio entre a minimização das variações de velocidade e as notificações ao operador para a aplicação dos freios, um mecanismo que emprega um loop de retorno, ou de feedback, para compensar as disparidades entre os parâmetros modelados quando em comparação com os parâmetros reais.

Também na forma de realização da presente invenção está incluída uma solução para identificar valores do parâmetro chave do trem 31. Por

exemplo, com relação a estimativa da massa do trem podem ser utilizados um filtro Kalman, e uma solução com recurso do último quadrado, para detectar os erros que podem aparecer durante o transcorrer do tempo.

A figura 7 ilustra um diagrama de fluxo da presente invenção. Tal como previamente descrito, uma instalação remota, tal como uma expedição 60, pode fornecer informações. Como ilustrado, tais informações são fornecidas para um elemento de controle executivo 62. Também fornecidas para o elemento de controle executivo 62 são as informações de modelagem do banco de dados 63 da locomotiva, as informações do banco de dados da linha 36 tais como, mas não limitadas a, informações sobre os graus da linha e as informações sobre os limites de velocidade da linha, os parâmetros estimados do trem tais como, mas não limitados a, o peso do trem e os coeficientes de arrasto, e as tabelas das taxas de consumo de combustível a partir de um avaliador das taxas 64. O elemento de controle executivo 62 fornece informações para o planejador 12, o qual está descrito com maiores detalhes na figura 1. Uma vez que tenha sido calculada a viagem, o plano é fornecido para um elemento 51 controlador ou condutor e visualizador da condução. O plano de viagem também pode ser fornecido para o elemento de controle executivo 62 de forma que este pode comparar a viagem quando outros novos dados sejam fornecidos.

Tal como supra descrito, o elemento de condução 51 pode ajustar, de forma automática, uma marcha de trabalho, tanto um ajuste pré-estabelecido para a marcha de trabalho quanto um a marcha de trabalho contínua otimizada. Em adição ao fornecimento de um comando de velocidade para a locomotiva 31, é fornecido um visor 68 para que o operador possa ver qual o plano que está sendo recomendado. O operador também tem acesso ao painel de controle 69. Por meio do painel de controle 69, o operador pode decidir se deve aplicar a marcha de trabalho recomendada. Para esta finalidade, o operador pode limitar uma potência limite ou alvo. Isto é, a qualquer tempo o operador sempre tem a decisão final em relação ao ajuste da potência com o qual a consistência de locomotivas irá operar. Isto inclui decidir se devem ser aplicados os freios caso o plano de viagem recomende a redução da velocidade do trem 31. Por exemplo, quando se opera em um território negro, ou quando um equipamento marginal não consegue transmitir eletronicamente as informações para o trem e ao invés do operador ter que ver os sinais visuais dos equipamentos marginais, o operador insere os comandos com base nas informações contidas no banco de dados da linha e nos sinais visuais do equipamento marginal. Baseado em como o trem 31 está funcionando, as informações relativas às medições do combustível são fornecidas para o avaliador ou estimador da taxa de consumo de combustível 64. Uma vez que a medição direta do fluxo de combustível não é tipicamente possível em uma consistência de locomotivas, todas as informações sobre o combustível até então consumido durante a viagem, bem

como as projeções para o futuro seguindo o plano otimizado, são realizadas utilizando os modelos físicos calibrados tais como aqueles utilizados no desenvolvimento dos planos otimizados. Por exemplo, tais previsões podem incluir, mas não estão limitadas, ao uso da potência bruta medida e das características conhecidas do combustível para derivar
5 no combustível usado de forma cumulativa.

O trem 31 também apresenta um dispositivo localizador 30, tal como um sensor GPS, tal como supra descrito. As informações são fornecidas para o avaliador 65 dos parâmetros do trem. Tais informações podem incluir, mas não estão limitadas aos dados do sensor GPS, aos dados dos marcos ferroviários, aos dados dos
10 esforços de tração/frenagem, aos dados sobre a situação dos freios, velocidade e quaisquer variações nos dados sobre a velocidade. Junto as informações relativas ao grau de inclinação e as informações sobre os limites de velocidade, as informações relativas ao peso do trem e aos coeficientes de arrasto são fornecidas para o elemento de controle executivo 62.

As formas de realização de exemplo da presente invenção também podem permitir o uso de uma potência continuamente variável para o planejamento otimizado e para a implementação de controle em loop fechado. Em uma locomotiva convencional, a potência é tipicamente quantificada em oito níveis discretos ou individuais. As modernas locomotivas podem conseguir uma variação contínua dos
15 cavalos-vapor, o que pode ser incorporado nos métodos de otimização previamente descritos. Com a potência contínua, a consistência de locomotivas 42 pode otimizar ainda mais as condições operacionais, p. ex., através da minimização das cargas auxiliares e das perdas na transmissão da potência, e fazer um ajuste fino do funcionamento do motor nas regiões de eficiência otimizada, ou nos pontos das margens de emissão incrementados. Exemplos incluem, mas não estão limitados à minimização
20 das perdas no sistema de refrigeração, ao ajuste nas tensões do alternador, ao ajuste da velocidade do motor, e na redução do número de eixos com ação motora. Além disto, a locomotiva 42 pode utilizar o banco de dados 36 embarcado sobre a linha e os requisitos de performance disseminados para minimizar as cargas auxiliares e as perdas na transmissão da potência de modo a obter uma eficiência otimizada para o consumo de combustível/emissões objetivados. Exemplos incluem, mas não estão limitados a, reduzir
25 o número de eixos de tração em terreno plano e o pré-resfriamento do motor da locomotiva antes de adentrar um túnel.

As formas de realização de exemplo da presente invenção também podem usar o banco de dados 36 embarcado da linha férrea e a performance disseminada para ajustar a performance da locomotiva, tal como para assegurar que o trem tem uma velocidade suficiente conforme este se aproxima de uma colina ou de um
30 túnel. Por exemplo, esta poderia ser expressa como uma restrição de velocidade para

um local em particular, a qual se torna parte da geração do plano otimizado através da solução da equação (OP). Em adição, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem incorporar as regras de condução do trem, tais como, mas não limitadas a, taxas de aumento do esforço de tração, taxas de aumento do esforço máximo de frenagem. Estes podem ser diretamente incorporados na fórmula para o perfil de viagem otimizada, ou alternativamente incorporados no regulador em loop fechado usado para controlar a aplicação da potência de modo a se obter a velocidade objetivada.

Em uma forma de realização de exemplo, a presente invenção é somente instalada na locomotiva líder da consistência de locomotivas. Apesar das formas de realização de exemplo da presente invenção não serem dependentes dos dados e das interações com outras locomotivas, estas podem ser integradas através da funcionalidade gerenciador da consistência, tal como descrito nas patentes americanas de número US 6.691.957 e no pedido de patente No. 10/429.596 (cedidas ao presente cessionário e aqui incorporadas como referência) e/ou com a funcionalidade otimizador de consistência de modo a melhorar a eficiência. A interação com diversos trens não é vetada, tal como ilustrado através do exemplo da expedição arbitrando dois trens "otimizados de forma independente" aqui descrito.

Os trens com sistema de tração distribuída podem ser operados de modos diferentes. Um modo é quando todas as locomotivas no trem operam com o mesmo comando para a marcha de trabalho. Assim, se a locomotiva líder está comandando a aplicação de N8, todas as unidades do trem serão comandadas a atuar na marcha de trabalho N8. Outro modo de operação é através do controle "independente". Neste modo, as locomotivas ou os conjuntos de locomotivas distribuídos através do trem podem estar operando com esforços de tração ou de frenagem diferentes. Por exemplo, conforme um trem alcança o cume de uma montanha, as locomotivas líderes (já na descendente da montanha) podem estar acionando os freios, enquanto que as locomotivas no meio e na parte traseira do trem (na parte ascendente da montanha) podem estar tracionando. Isto é feito para minimizar as forças de distensão sobre os acoplamentos mecânicos que ligam os vagões nas locomotivas. Tradicionalmente, a operação de um sistema de tração distribuída no modo "independente" requer que o operador comande manualmente cada locomotiva remota, ou cada conjunto de locomotivas, através de uma tela na locomotiva líder. Usando o modelo de plano baseado na física, as informações de ajuste do trem, o banco de dados da linha a bordo, as regras de operação a bordo, o sistema de determinação da localização, o controle de tração/frenagem em tempo real e em loop fechado, e o retorno dos sensores, o sistema pode automaticamente operar o sistema de tração distribuída no modo "independente".

Quando se opera na forma de tração distribuída, o operador

na locomotiva líder pode controlar as funções operacionais das locomotivas remotas nas consistências remotas através de um sistema de controle, tal como um elemento de controle da tração distribuída. Assim, quando se opera na forma de tração distribuída, o operador pode comandar cada consistência de locomotivas para operar com uma
5 marcha de trabalho diferente (ou uma consistência poderia estar tracionando enquanto outra poderia estar freando), sendo que cada locomotiva individual dentro da consistência de locomotivas opera com a mesma marcha de trabalho. Em uma forma de realização de exemplo, com a forma de realização de exemplo da presente invenção instalada no trem, de preferência em comunicação com o elemento de controle da tração distribuída, quando é desejado um nível de potência para a marcha de trabalho para uma
10 consistência de locomotivas remota, tal como quando recomendado pelo plano de viagem otimizado, a forma de realização de exemplo da presente invenção irá comunicar este ajuste de potência para a consistência de locomotivas remota de modo a implementá-lo. Como descrito abaixo, o mesmo é verdadeiro em relação à aplicação dos freios.
15

As formas de realização de exemplo da presente invenção podem ser usadas em consistências nas quais as locomotivas não são contíguas, isto é, com 1 ou mais locomotivas à frente, com outras no meio e outras na traseira do trem. Tais configurações são chamadas de potência ou tração distribuída, sendo que a
20 conexão padrão entre as locomotivas é substituída por um canal ou *link* de rádio, ou através de um cabo auxiliar para conectar externamente as locomotivas. Quando em operação como potência distribuída, o operador na locomotiva líder pode controlar as funções operacionais das locomotivas remotas na consistência através de um sistema de controle, tal como um elemento de controle de potência distribuída. Em particular, e
25 quando se opera na forma de tração distribuída, o operador pode comandar cada consistência de locomotivas para operar com uma marcha de trabalho diferente (ou uma consistência poderia estar tracionando enquanto outra poderia estar freando), sendo que cada locomotiva individual dentro da consistência de locomotivas opera com a mesma marcha de trabalho.
30

Em uma forma de realização de exemplo, com a forma de realização de exemplo da presente invenção instalada no trem, de preferência em comunicação com o elemento de controle da tração distribuída, quando é desejado um nível de potência para a marcha de trabalho para uma consistência de locomotivas remota, tal como quando recomendado pelo plano de viagem otimizado, a forma de
35 realização de exemplo da presente invenção irá comunicar este ajuste de potência para a consistência de locomotivas remota de modo a implementá-lo. Como descrito abaixo, o mesmo é verdadeiro em relação a aplicação dos freios. Quando em operação como potência distribuída, o problema de otimização previamente descrito pode ser aumentado

para permitir graus adicionais de liberdade, sendo que cada unidade remota pode ser controlada, de forma independente, a partir da unidade líder. O valor desta está em que podem ser incorporados objetivos e restrições adicionais, relativos as forças internas ao trem, na função de performance, estando também incluído o modelo assumir os reflexos nas forças internas. Assim, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem incluir o uso de diversos controles de aceleração de modo a gerenciar melhor as forças internas ao trem, assim como o consumo de combustível e as emissões.

Em um trem que utiliza um gerenciador de consistência, a locomotiva líder em uma consistência de locomotivas pode operar com um ajuste diferente para a potência da marcha de trabalho que o das outras locomotivas nesta consistência. As outras locomotivas na consistência operam com o mesmo ajuste para a potência da marcha de trabalho. As formas de realização de exemplo da presente invenção podem ser utilizadas em conjunto com o gerenciador de consistência para comandar os ajustes das marchas de trabalho na consistência. Assim e com base nas formas de realização de exemplo da presente invenção, uma vez que o gerenciador de consistência divide uma consistência de locomotivas em dois grupos, locomotiva líder e unidades posteriores, a locomotiva líder será comandada de modo a operar com uma certa marcha de trabalho e as locomotivas posteriores são comandadas para operar com uma outra marcha de trabalho. Em uma forma de realização de exemplo, o elemento de controle da potência distribuída pode ser o sistema e/ou o dispositivo no qual esta operação está alojada.

Da mesma forma, quando um otimizador de consistência é usado em uma consistência de locomotivas, as formas de realização de exemplo da presente invenção também podem ser usadas em conjunto com o otimizador da consistência para determinar a potência da marcha de trabalho para cada locomotiva na consistência de locomotivas. Por exemplo, suponha que um plano de viagem recomende um ajuste para a marcha de trabalho de 4 para a consistência de locomotivas. Com base na localização do trem, o otimizador da consistência irá levar em conta esta informação e então determinar o ajuste para a marcha de trabalho para cada locomotiva dentro da consistência. Nesta implementação, é melhorada a eficiência dos ajustes da potência selecionada pela marcha de trabalho em relação aos canais de comunicação internos ao trem. Além do mais, e tal como supra descrito, a implementação desta configuração pode ser realizada utilizando-se o sistema de controle distribuído.

Ainda mais, e tal como previamente descrito, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem ser utilizadas para correções contínuas e para o re-planejamento com relação a quando a consistência do trem utiliza os freios, com base nos itens de interesse que surgem, tais como, mas não limitados a, os cruzamentos ferroviários, as alterações na inclinação da linha, a aproximação de

5 sinaleiros, a aproximação a pátios de depósito, e a aproximação a estações de reabastecimento, nas quais cada locomotiva da consistência pode precisar de uma opção de frenagem diferenciada. Por exemplo, se o trem está ultrapassando o pico de uma montanha, a locomotiva à frente pode ter que entrar em uma condição de frenagem, enquanto que as locomotivas remotas, que ainda não alcançaram o pico da montanha, podem ter que permanecer na condição motriz.

10 As figuras 8, 9 e 10 mostram exemplos de ilustrações das telas dinâmicas para uso pelo operador. De acordo com a figura 8, é fornecido 72 um perfil de viagem. Dentro do perfil, é fornecida a localização 73 da locomotiva. São também fornecidas algumas informações tais como o comprimento do trem 105 e o número de carros ferroviários 106 no trem. São também fornecidos elementos relativos ao grau de inclinação 107 da linha, a curvatura e os elementos marginais 108, incluindo a localização de pontes 109, e a velocidade do trem 110. A tela 68 permite que o operador veja tais conformações e também veja onde o trem se encontra ao longo da rota. São 15 fornecidas as informações relativas à distância e/ou ao tempo estimado de chegada para alguns locais tais como cruzamentos 112, sinais 114, mudanças de velocidade 116, marcos terrestres 118 e destinos 120. É também prevista uma ferramenta de gerenciamento do tempo de chegada 125 de modo a permitir ao usuário determinar a economia de combustível que está sendo conseguida durante a viagem. O operador tem 20 a capacidade de alterar os horários de chegada 127 e presenciar como isto irá afetar a economia de combustível. Como aqui descrito, aquelas pessoas com proficiência na arte irão perceber que a economia de combustível é apenas um exemplo de somente um objetivo que pode ser revisto através da ferramenta de gerenciamento. Nestê sentido, e dependendo do parâmetro que está sendo visto, os outros parâmetros aqui descritos podem ser vistos e avaliados pela ferramenta de gerenciamento que está visível ao 25 operador. Ao operador também são fornecidas informações acerca de por quanto tempo a tripulação está operando no trem. Nas formas de realização de exemplo, as informações concernentes ao tempo e à distância tanto podem ser ilustradas de acordo com o tempo e/ou com a distância até um evento em particular e/ou uma localização, 30 quanto podem fornecer o tempo total transcorrido.

Tal como o quanto ilustrado na figura 9, uma tela de exemplo de fornece as informações acerca dos dados da consistência 130, e dos eventos e situações geográficas 132, de uma ferramenta de gerenciamento dos horários de chegada 134 e das teclas de ação 136. Da mesma forma, as informações similares as 35 supra descritas são mostradas nesta tela. A tela 68 também prevê as teclas de ação 138 para permitir ao operador re-planejar, assim como desabilitar 140 as formas de realização de exemplo da presente invenção.

A figura 10 ilustra uma outra forma de realização de

exemplo de uma tela. Nesta podem ser visualizados os dados típicos de uma locomotiva moderna, incluindo a situação dos freios a ar 72, o velocímetro analógico com indicação digital 74, e as informações acerca do esforço ou força de tração em libras força (ou em ampéres de tração para as locomotivas elétricas DC). É fornecido um indicador 74 para mostrar a velocidade ótima atual no plano que está sendo executado, assim como um gráfico de aceleração para suplementar a leitura em mph/minuto. Os novos dados importantes para a execução do plano otimizado se encontram no centro da tela, incluindo um tráfico 76, de tipo com curva flutuante, com a velocidade e o ajuste da marcha de trabalho otimizados em função da distância, comparados com o histórico atual destas variáveis. Na forma de realização de exemplo, a localização do trem é derivada utilizando o elemento localizador. Tal como ilustrado, a localização é fornecida através da identificação de quão distante o trem se encontra em relação ao seu destino final, de uma posição absoluta, de um destino inicial, de um ponto intermediário e/ou de uma entrada do operador.

A curva fornece uma visão antecipada relativa às mudanças de velocidade necessárias para seguir o plano otimizado, as quais são úteis para o controle manual, e monitoram o plano em função da duração atual do controle automático. Tal como aqui descrito, e de acordo com o modo de instrução, o operador tanto pode seguir o marcha de trabalho ou a velocidade sugerida pela forma de realização de exemplo da presente invenção. A barra vertical da uma indicação gráfica das marchas de trabalho atual e desejada, as quais também são mostradas digitalmente abaixo da curva. Quando é utilizada uma marcha de trabalho contínua, tal como supra descrito, a tela simplesmente irá contornar o equivalente discreto mais próximo, a tela podendo ser uma tela analógica de tal forma a que seja mostrado um equivalente analógico ou um percentual ou o real da potência/esforço de tração.

As informações críticas sobre a situação da viagem são mostradas na tela, e indicam o atual grau de inclinação que o trem encontra 88, tanto pela locomotiva líder, por um local qualquer ao longo do trem ou como uma média em relação ao comprimento do trem. Também são mostradas a distância até então percorrida do plano 90, o total acumulado de combustível usado 92, qual ou a que distância está planejada a próxima parada 94, o horário de chegada atual e o projetado 96 e o horário esperado para a próxima parada. A tela 68 também mostra o máximo de tempo possível até o destino que é possível a partir dos planos computados disponíveis. Se for necessária uma chegada mais tardia, pode ser realizado um re-planejamento. Os dados do plano delta mostram a situação do combustível e a agenda à frente ou atrás do plano otimizado atual. Os números negativos indicam menos combustível ou adiantamento em comparação com o plano, os números positivos significam mais combustível ou atraso em comparação com o plano, e tipicamente movimentações em

direção oposta (reduzir a velocidade para economizar o combustível causa um atraso do trem, e vice versa).

A qualquer momento, as telas 68 dão ao operador uma posição instantânea de onde ele se encontra com relação ao plano de condução atualmente instituído. Esta tela tem somente um propósito ilustrativo, visto que existem diversas outras formas de apresentar/transmitir estas informações para o operador e/ou para a expedição. Neste sentido, as informações supra descritas podem ser mescladas de modo a fornecer uma tela diferente que as descritas.

Outras características que podem ser incluídas nas formas de realização de exemplo da presente invenção incluem, mas não estão limitadas a, permitir a geração de registros de dados e de relatórios. Estas informações podem ser armazenadas no trem e baixadas para um sistema não embarcado em algum momento. Os *downloads* podem acontecer por via manual e/ou através de uma transmissão sem fio. Estas informações também podem ser vistas por um operador através de uma tela na locomotiva. Os dados podem incluir informações tais como, mas não limitadas a, as entradas do operador, o tempo pelo qual o sistema está operacional, o combustível economizado, o desequilíbrio da quantidade de combustível nas locomotivas do trem, a jornada do trem fora de curso, os problemas de diagnóstico do sistema tal como o mau funcionamento de um sensor GPS.

Posto que os planos devem levar em consideração o tempo de trabalho permitido para a tripulação, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem levar em consideração estas informações durante o planejamento da viagem. Por exemplo, caso o máximo de tempo que a tripulação possa operar seja de oito horas, então a viagem deve ser conformada de modo a incluir locais de parada para que uma nova tripulação possa substituir a tripulação atual. Tais locais específicos de parada podem incluir, mas não estão limitados a, os pátios ferroviários, os locais de encontro/ultrapassagem, etc. Se, conforme avança a viagem, possa ser excedido o tempo de trabalho da tripulação, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem ser ignoradas pelo operador para satisfazer um critério determinado pelo operador. Por fim, e a despeito das condições operacionais do trem, tais como, mas não limitadas a, carga elevada, baixa velocidade, condição de tensão interna do trem, etc., o operador permanece no controle de modo a comandar a velocidade e/ou as condições operacionais do trem.

Utilizando as formas de realização de exemplo da presente invenção, o trem pode operar uma pluralidade de operações. Em um conceito operacional, uma forma de realização de exemplo da presente invenção pode fornecer os comandos para comandar a propulsão, os freios dinâmicos. O operador então realiza todas as outras funções do trem. Em um outro conceito operacional, uma forma de

realização de exemplo da presente invenção pode prever os comandos somente para comandar a propulsão. O operador então realiza a frenagem dinâmica e todas as demais funções. Em mais um outro conceito operacional, uma forma de realização de exemplo da presente invenção pode prever os comandos da propulsão, da frenagem dinâmica e da aplicação dos freios a ar. O operador então realiza todas as demais funções do trem.

As formas de realização de exemplo da presente invenção também podem ser usadas para notificar o operador sobre itens que se apresentem de interesse em relação a ações a serem tomadas. Especificamente, a lógica disseminada das formas de realização de exemplo da presente invenção as correções contínuas e o re-planejamento do plano de viagem otimizado, o banco de dados da linha, o operador pode ser notificado da aproximação de cruzamentos, de sinais, de mudanças no grau de inclinação, da ação dos freios, de marcos marginais, de pátios ferroviários, de estações de abastecimento, etc. Esta notificação pode acontecer de forma sonora e/ou através da interface do operador.

Através especificamente do uso do modelo de planejamento baseado no comportamento físico, nas informações de partida, no banco de dados da linha a bordo, das regras operacionais a bordo, no sistema de determinação da localização, no controle dos freios/potência em loop fechado e em tempo real, e no retorno dos sensores, o sistema apresenta e/ou notifica ao operador as ações necessárias. A notificação pode ser visual ou audível. Exemplos incluem a notificação de cruzamentos os que requerem que o operador ative a buzina ou o sino da locomotiva, a notificação de cruzamentos "silenciosos" que não requerem que o operador ative a buzina ou o sino da locomotiva.

Em uma outra forma de realização de exemplo, e utilizando o modelo de planejamento baseado no comportamento físico tal como supra, as informações de partida, o banco de dados da linha à bordo, as regras operacionais à bordo, o sistema de determinação da localização, o controle dos freios/potência em loop fechado e em tempo real, e o retorno dos sensores, as formas de realização de exemplo da presente invenção podem apresentar ao operador as informações (p. ex., um gabarito na tela) que permite que o operador veja quando o trem irá chegar a diversos locais, tal como ilustrado na figura 9. O sistema permite ao operador ajustar o plano de viagem (horário de chegada objetivado). Estas informações (horários de chegada atualmente estimado ou as informações necessárias para derivar não a bordo) também podem ser comunicadas para o centro de expedição de modo a permitir ao despachante ou ao sistema de despachos ajustar os horários de chegada objetivados. Isto permite que o sistema ajuste rapidamente e otimize a função objetivada apropriada (por exemplo a velocidade de deslocamento e o combustível utilizado).

Com base nas informações supra fornecidas, as formas de

realização de exemplo da invenção podem ser usadas para se determinar uma localização do trem 31 sobre a linha, etapa 18. A determinação da característica da linha também pode ser conseguida tal como através do uso do avaliador 65 dos parâmetros do trem. Um plano de viagem pode ser criado com base na localização do trem, na
5 característica do trem, e em uma condição operacional de ao menos uma das locomotivas do trem. Ainda mais, um requisito opcional de potência pode ser comunicado para o trem, sendo que o operador do trem pode ser direcionado a uma locomotiva, a uma consistência de locomotivas e/ou a um trem, de acordo com a potência ótima, tal como através de um sistema de comunicação sem fio 47. Em um outro exemplo, ao
10 invés de direcionar o operador do trem, o trem 31, a consistência de locomotivas 18 e/ou a locomotiva podem ser automaticamente operados com base no ajuste otimizado da potência.

Em adição, um método pode também envolver a determinação de um ajuste de potência, ou de um comando de potência 14, para a
15 consistência de locomotivas 18 com base no plano de viagem. A consistência de locomotivas 18 é então operada dentro do ajuste de potência. Os parâmetros operacionais do trem e/ou da consistência de locomotivas que podem ser capturados são, tal como mas não limitado a, o ajuste atual da potência da consistência de locomotivas, e a localização do trem. Ao menos um dentre estes parâmetros pode ser
20 comparado com o ajuste de potência para a consistência de locomotivas com o qual esta é comandada para operar.

Em uma outra forma de realização, um método pode envolver a determinação dos parâmetros operacionais 62 do trem e/ou da consistência de locomotivas. Um parâmetro operacional desejado é determinado com base nos
25 parâmetros operacionais determinados. O parâmetro determinado é comparado com o parâmetro operacional. Caso seja detectada uma diferença, o plano de viagem é ajustado, etapa 24.

Uma outra forma de realização pode prever um método no qual é determinada a localização do trem 31 sobre a linha 34. Uma característica da linha
30 34 também é determinada. Um plano de viagem, ou plano de condução, é desenvolvido ou gerado de modo a minimizar o consumo de combustível. O plano de viagem pode ser gerado com base na localização do trem, na característica da linha e/ou na condição operacional da consistência de locomotivas 18 e/ou do trem 31. Em um método similar, uma vez que é determinada a localização do trem na linha e é sabida uma característica
35 da linha, o controle da propulsão e/ou os comandos para a marcha de trabalho são fornecidos de modo a minimizar o consumo de combustível.

A figura 12 ilustra uma forma de realização de exemplo de um sistema em loop fechado para a operação de um veículo ferroviário. Tal como

ilustrado, o otimizador de viagem 650, o conversor 652, o veículo ferroviário 653 e ao menos uma saída 654 tal como, mas não limitada a, velocidade, emissões, esforço de tração, potência, areia, etc., são parte do sistema de comunicação 657 de controle em loop fechado. A saída 654 pode ser determinada por um sensor 656, o qual é parte do

5 veículo ferroviário 653, ou em uma outra forma de realização de exemplo, independente do veículo ferroviário 653. Por exemplo, e com relação a areia, a determinação é feita uma determinação, tal como através de um sensor, em relação a quantidade de areia liberada para permitir que uma roda ferroviária não patine. Os peritos na arte irão prontamente perceber que considerações similares podem ser aplicadas às outras

10 saídas supra identificadas. As informações inicialmente derivadas das informações geradas a partir do otimizador de viagem 650 e/ou de um regulador são fornecidas para o veículo ferroviário 653 através do conversor 652. Os dados da locomotiva admitidos pelo sensor 654 a partir do veículo ferroviário são então comunicados através de uma rede, por meio de cabos e/ou de forma sem fio, 657 de volta para o otimizador 650. Em

15 uma forma de realização de exemplo, o otimizador 650 pode utilizar qualquer variável e empregar esta variável para a determinação de ao menos um entre a velocidade, a potência e/ou o ajusta para a marcha de trabalho. Por exemplo, o otimizador pode ser ao menos um entre um otimizador do combustível, do tempo, das emissões e/ou de uma combinação entre estes.

20 O otimizador 650 determina as características operacionais para ao menos um fator que deve ser regulado, tal como, mas não limitado a, velocidade, combustível, emissões, etc. O otimizador 650 determina ao menos um entre um ajuste da potência e/ou do torque com base em um valor otimizado que é determinado. O conversor 652 é previsto para converter a potência, o torque, a velocidade, as emissões, a areia, o ajuste, as configurações, etc., e/ou as entradas de controle para o veículo

25 ferroviário 653, usualmente uma locomotiva. Especificamente, estas informações ou dados relativos à potência, ao torque, à velocidade, às emissões, à areia, ao ajuste, às configurações, etc., e/ou às entradas de controle são convertidos em um sinal elétrico.

A figura 13 ilustra o sistema em loop fechado integrado com

30 uma unidade de controle mestre. Tal como ilustrado com maiores detalhes abaixo, o conversor 652 pode fazer a interface com qualquer um dentre uma pluralidade de dispositivos, tais como, mas não limitados a, um controlador mestre, um controlador remoto de controle da locomotiva, um controlador de comando da tração distribuída, um modem de linha do trem, uma entrada analógica, etc. Por exemplo, o conversor pode

35 desconectar a saída do controlador mestre 651. O controlador mestre 651 é normalmente usado pelo operador para comandar a locomotiva, tal como, mas não limitado aos níveis de tração, potência, esforço de tração, areia, freios (incluindo ao menos um entre os freios dinâmicos, os freios a ar, os freios manuais, etc.), propulsão,

etc., da locomotiva. Os peritos na arte irão prontamente perceber que o controlador mestre pode ser usado para controlar chaves eletro/mecânicas e chaves com base em softwares usados para o controle da locomotiva. O conversor 652 então injeta os sinais no controlador mestre 651. A desconexão do controlador mestre 651 pode ser através de
5 fios elétricos ou de chaves de software ou através de processos configuráveis para a seleção de entrada, etc. Um dispositivo de chaveamento 655 é ilustrado para realizar esta função.

Tal como supra descrito, a mesma técnica pode ser usada para outros dispositivos, tais como, mas não limitados a, o controlador de controle da locomotiva, o controlador de comando da tração distribuída, um modem de linha do trem,
10 uma entrada analógica, etc. Apesar de não estar lustrado, os peritos na arte irão prontamente perceber que o controlador mestre poderia usar, de forma similar, estes dispositivos e as suas conexões associadas com a locomotiva e utilizar os sinais de entrada. O sistema de comunicação 657 para estes outros dispositivos pode ser tanto de
15 tipo sem fio quanto cabeado.

A figura 14 ilustra uma forma de realização de exemplo de um sistema em loop fechado para operar um veículo ferroviário integrado com uma outra entrada de um subsistema operacional do veículo ferroviário. Por exemplo, o controlador de tração distribuída 659 pode receber entradas de diversas fontes 661, tais como, mas
20 não limitadas a, linhas do trem e/ou controladores da locomotiva, e transmitir as informações para as locomotivas em posições remotas. O conversor 652 pode fornecer informações diretamente para a entrada do controlador DP 659 (como uma entrada adicional) ou bloquear uma das conexões de entrada e transmitir as informações para o controlador DP 659. Uma chave 655 é prevista de modo a direcionar como o conversor
25 652 fornece as informações para o controlador DP 659, tal como supra descrito. A chave 655 pode ser uma chave baseada em um software e/ou uma chave cabeada. Em adição, a chave 655 não é necessariamente uma chave de duas vias. A chave pode apresentar uma pluralidade de direções de chaveamento com base no número de sinais que esta controla.

Em uma outra forma de realização de exemplo, o conversor pode comandar as operações do controlador mestre, tal como ilustrado na figura 15. O conversor 652 apresenta meios mecânicos para mover o controlador mestre 651 de
30 forma automática, com base nos sinais elétricos recebidos do otimizador 650.

São previstos sensores 654, à bordo da locomotiva, de modo a capturar os dados relativos a condição operacional, tais como, mas não limitados
35 a, velocidade, emissões, esforço de tração, potência, etc. As informações 654 emitidas pela locomotiva são então fornecidas para o otimizador 650, usualmente através do veículo ferroviário 653, assim completando o sistema em loop fechado.

A figura 16 ilustra um diagrama de fluxo das etapas para a operação do veículo ferroviário em um processo em loop fechado. O diagrama de fluxo 660 inclui uma etapa para determinar um ajuste otimizado para uma consistência de locomotivas, etapa 662. O ajuste otimizado pode incluir um ajuste para qualquer variável de configuração tal como, mas não limitada a ao menos uma entre nível de potência, torque otimizado, emissões, número de eixos interrompidos, configurações de outras locomotivas, etc. Uma outra etapa fornece a conversão do nível de potência otimizado e/ou do ajuste do torque em um sinal de entrada reconhecível para a consistência de locomotivas, etapa 664. Ao menos uma condição operacional da consistência de locomotivas é determinada quando é aplicado ao menos um entre o nível de potência otimizado ou o ajuste otimizado do torque, etapa 667. Uma outra etapa envolve a comunicação, dentro do loop fechado de controle, para um otimizador da ao menos uma condição operacional de modo a que a ao menos uma condição operacional seja usada de modo a ainda otimizar ao menos um entre o nível de potência ou o ajuste do torque, etapa 668.

Tal como supra descrito, as etapas ilustradas neste diagrama de fluxo 660 podem ser realizadas utilizando um código de programa de computador. Portanto, e para os veículos ferroviários que podem não apresentar inicialmente a capacidade de realizar as etapas aqui descritas, um meio eletrônico contendo os módulos do programa de computador pode ser acessado por um computador do veículo ferroviário, de modo a que ao menos os módulos de software possam ser carregados no veículo ferroviário para a sua implementação. O meio eletrônico não deve ser limitante, uma vez que quaisquer módulos de programa de computador também podem ser carregados através dos sistemas de transferência das mídias eletrônicas, incluindo os sistemas de transferência sem fio e via cabo, tais como, mas não limitados ao uso da internet para se conseguir realizar a instalação.

Apesar da invenção ter sido descrita com referência ao que ora se considera como uma forma de realização preferida, diversas variantes e modificações poderão ficar claras aos peritos na arte. Deste modo, pretende-se que a invenção não seja limitada pela forma particular de realização, descrita como a melhor forma contemplada de realização da invenção, mas que a invenção deva incluir todas as formas de realização que recaem dentro do escopo das reivindicações em anexo.

Reivindicações

1. Sistema de controle para operar um sistema de tração a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, o sistema **caracterizado** pelo fato de compreender:

- a) um otimizador de missão, o qual determina ao menos um ajuste para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel;
- b) um conversor que recebe ao menos uma informação que deve ser usada pela unidade de geração de potência alimentada a diesel e converte a informação em um sinal aceitável;
- c) um sensor para coletar ao menos um dado operacional, a partir do sistema de tração a diesel, o qual é comunicado para o otimizador de missão; e
- d) um sistema de comunicação que empreende um loop fechado de controle entre o otimizador de missão, o conversor e o sensor.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual a informação compreende ao menos um entre propulsão, esforço de tração, frenagem dinâmica, freios a ar, informação da potência e informação do torque.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de comunicação é ao menos um entre um sistema sem fio e um sistema cabeado.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o otimizador é usado para determinar ao menos um entre o combustível, o tempo, as emissões ou uma combinação entre estes.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende um sistema de transporte ferroviário, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende ao menos uma locomotiva tracionada por meio de ao menos um motor a combustão interna a diesel.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma embarcação naval, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende ao menos um motor de combustão interna a diesel.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende um veículo fora de estrada, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende um motor a combustão interna a diesel.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma estação de geração de energia estacionária, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel

compreende um motor a combustão interna a diesel.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma rede de estações de geração de energia estacionária, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende um motor a combustão interna a diesel.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, ainda **caracterizado** pelo fato de compreender um controlador mestre para receber um sinal de um conversor e então comunicar um comando para o sistema de tração a diesel.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual o controlador mestre é ativado mecanicamente em resposta ao sinal recebido de um conversor.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, ainda **caracterizado** pelo fato de compreender um controlador mestre para controlar, de forma direta, o sistema de tração a diesel que é controlado por um operador e um dispositivo de chaveamento para determinar se controlar o sistema de tração a diesel através do controlador mestre ou do conversor.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, ainda **caracterizado** pelo fato de compreender ao menos um controlador de locomotiva de controle remoto, um controlador de comando da potência distribuída, um modem de linha do trem, uma entrada analógica ligada entre o conversor e o sistema de tração a diesel dentro do loop fechado de controle.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato no qual o conversor fornece uma entrada de controle para ao menos um entre um controlador de locomotiva de controle remoto, um controlador de comando da potência distribuída, um modem de linha do trem, uma entrada analógica dentro do loop fechado de controle.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato no qual os dados de operação incluem ao menos um entre as informações acerca da velocidade, das emissões, do esforço de tração, e da potência em cavalos vapor.

16. Método para controlar as operações de um sistema de tração a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, o método **caracterizado** pelo fato de compreender:

- a) determinar ao menos um ajuste otimizado para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel;
- b) converter ao menos um ajuste otimizado em um sinal de entrada reconhecível para a unidade de geração de potência alimentada a diesel;
- c) determinar ao menos uma condição operacional do sistema de tração a diesel

- c) um módulo de programa de computador para determinar ao menos uma condição operacional do sistema de tração a diesel quando é aplicado ao menos um ajuste otimizado; e
- d) um módulo de programa de computador para comunicar, dentro do loop fechado de controle, para um otimizador a ao menos uma condição operacional de tal forma que a ao menos uma condução operacional é ainda usada para otimizar o ao menos um ajuste.

24. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende um sistema de transporte ferroviário, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende ao menos uma locomotiva tracionada por meio de ao menos um motor a combustão interna a diesel.

25. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma embarcação naval, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende ao menos um motor de combustão interna a diesel.

26. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende um veículo fora de estrada, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende um motor a combustão interna a diesel.

27. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma estação de geração de energia estacionária, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende um motor a combustão interna a diesel.

28. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o sistema de tração a diesel compreende uma rede de estações de geração de energia estacionária, e sendo que a unidade de geração de potência alimentada a diesel compreende um motor a combustão interna a diesel.

29. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual o módulo de programa de computador para converter ainda compreende um módulo de programa de computador para operar ao menos um entre uma saída do controle de massa, um controlador para a locomotiva de controle remoto, um controlador de comando da potência distribuída, um modem usado em uma linha do trem, um dispositivo de entrada analógica, e um controlador mecânico para mover, de forma autônoma, um controlador de massa de tal forma que ao menos uma consistência de locomotivas opera de acordo com ao menos um nível

otimizado de potência e um ajuste otimizado do torque.

30. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado** pelo fato no qual o módulo de programa de computador para determinar ao menos um ajuste, o módulo de programa de computador para converter ao menos um ajuste, o módulo de programa de computador para determinar ao menos uma condição operacional e o módulo de programa de computador para comunicar a um otimizador a ao menos uma condição operacional são, cada um, realizados de forma autônoma.

31. Código de programa de computador, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato no qual os módulos de programa de computador são fornecidos em uma mídia eletrônica removível, de tal forma que ao menos um dentre os módulos de programa de computador pode ser programado em ao menos uma consistência de locomotivas a qual originalmente não apresentava ao menos um dentre os módulos de programa de computador programados.

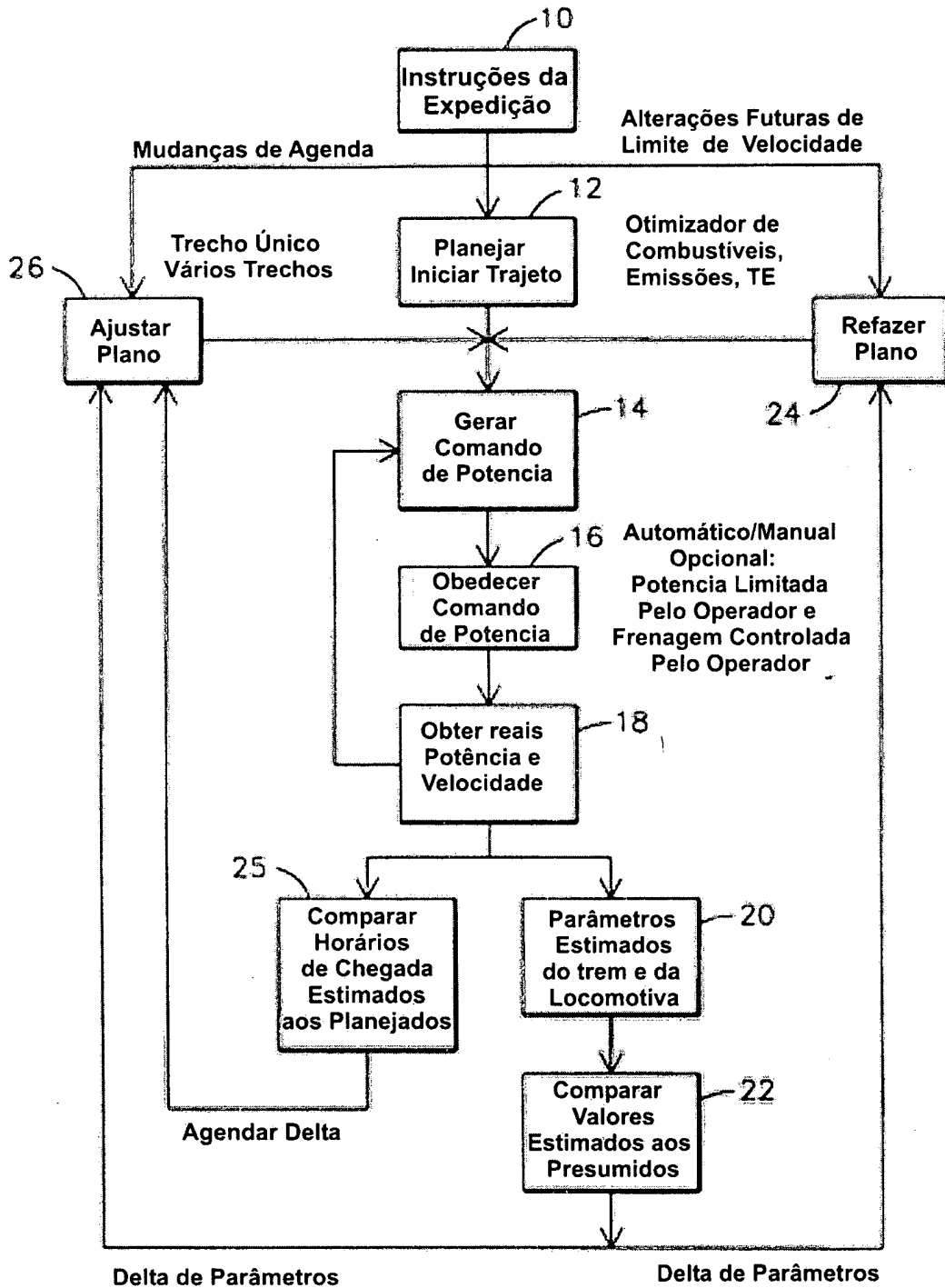


Figura 1

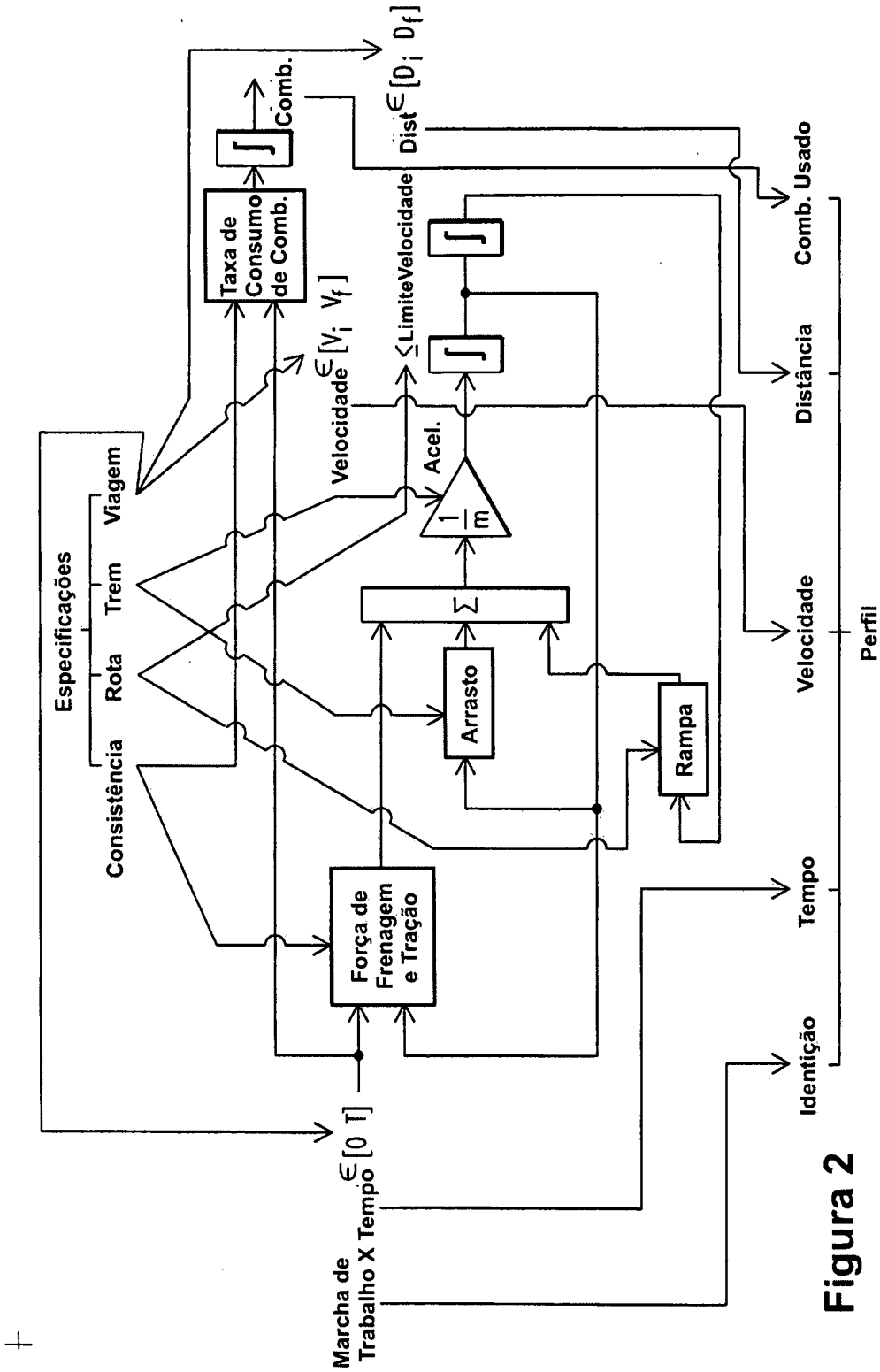


Figura 2

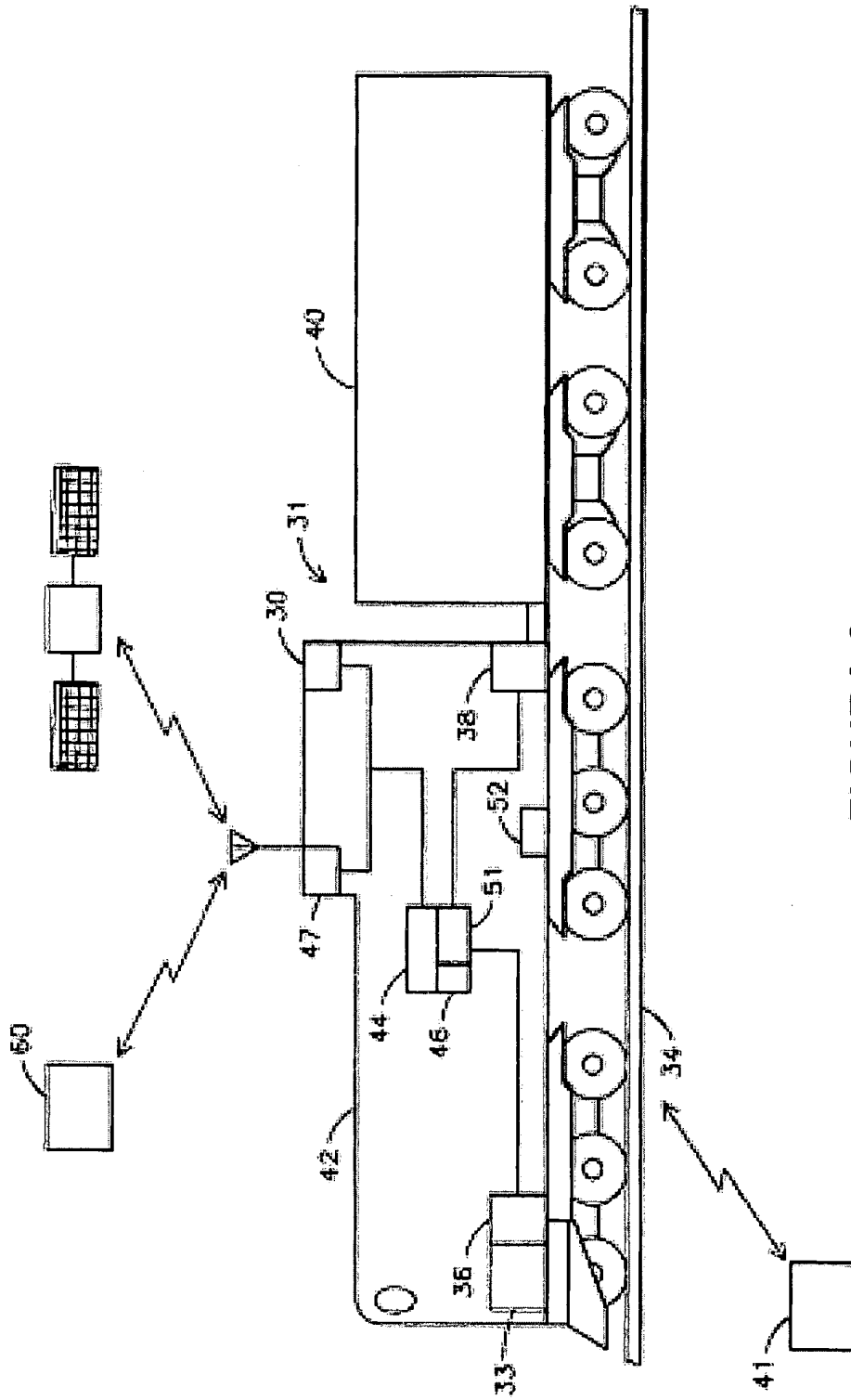


FIGURA 3

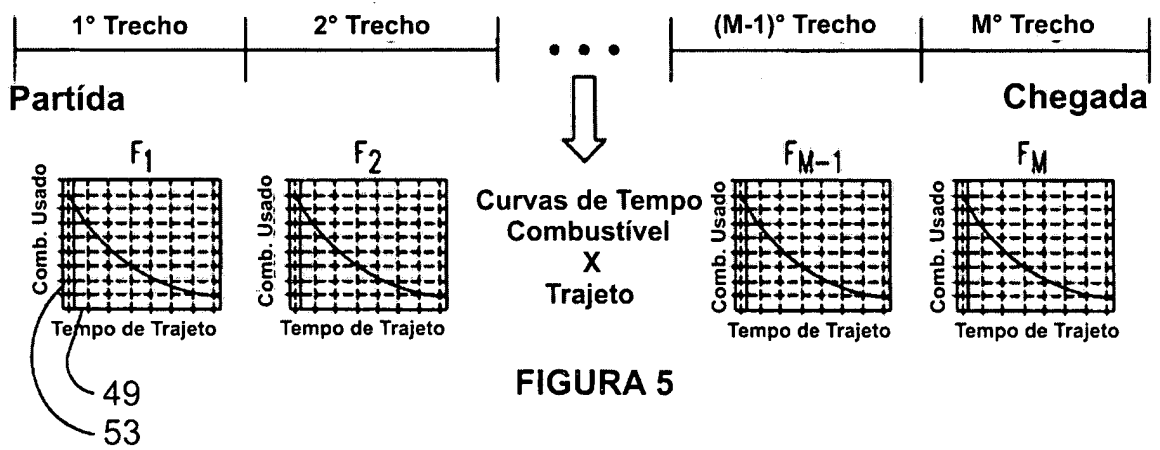
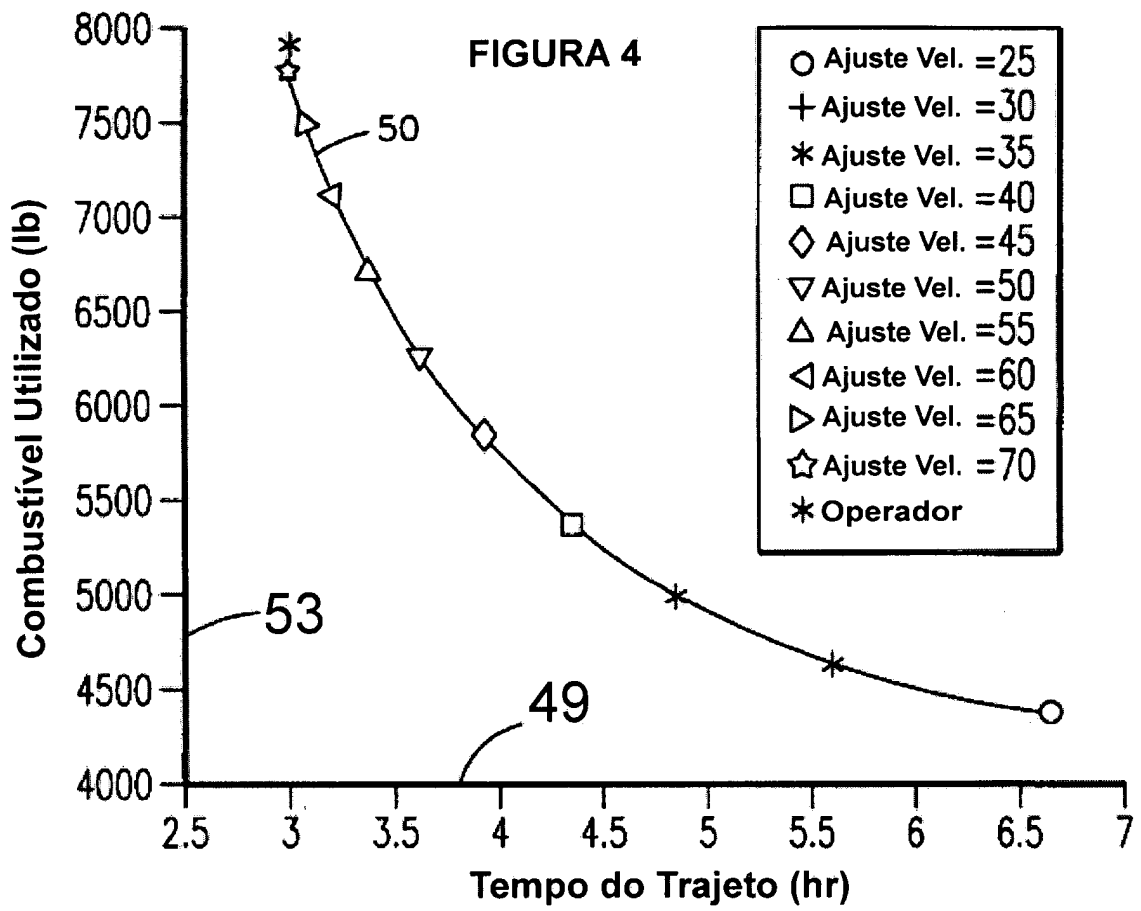
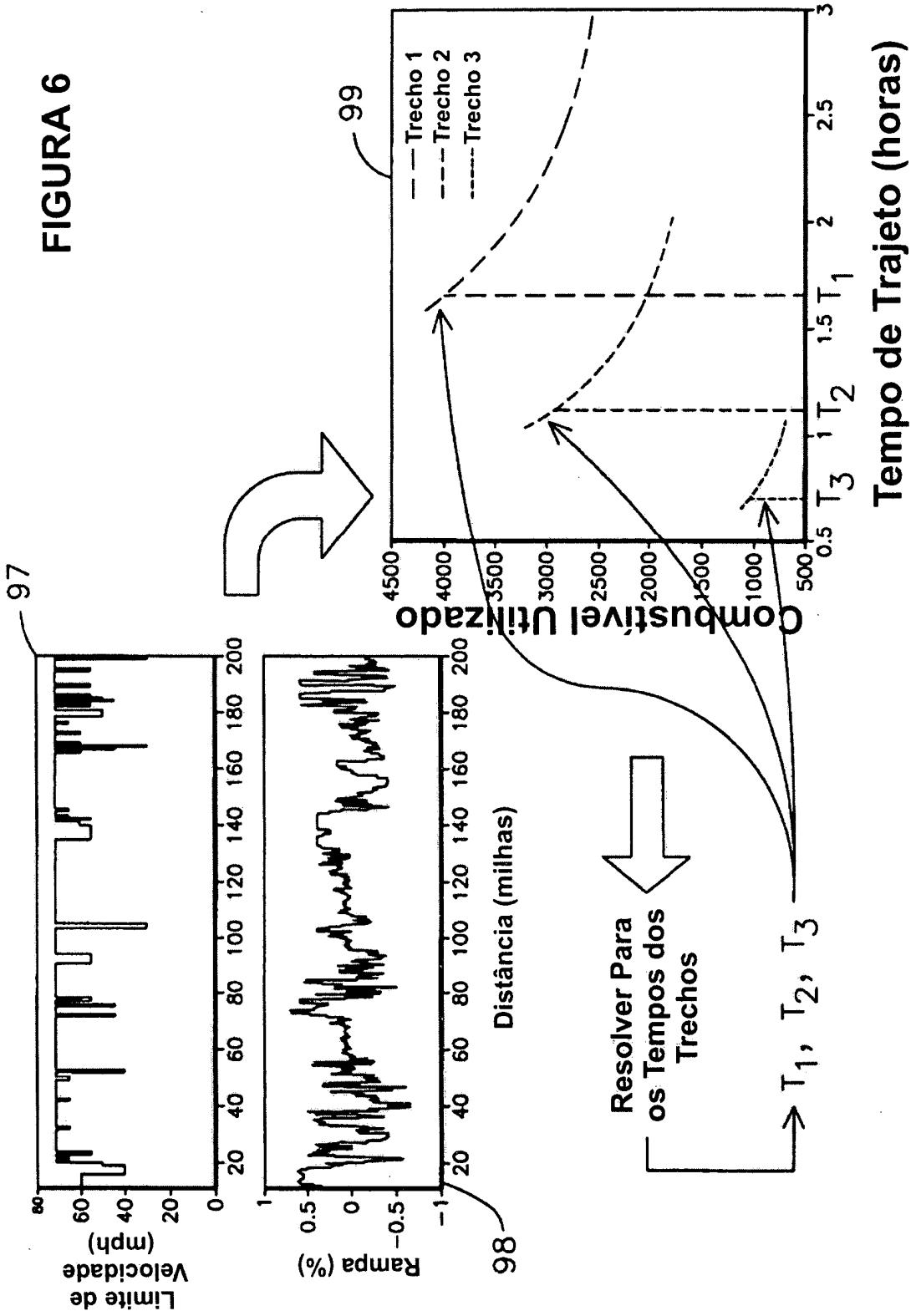
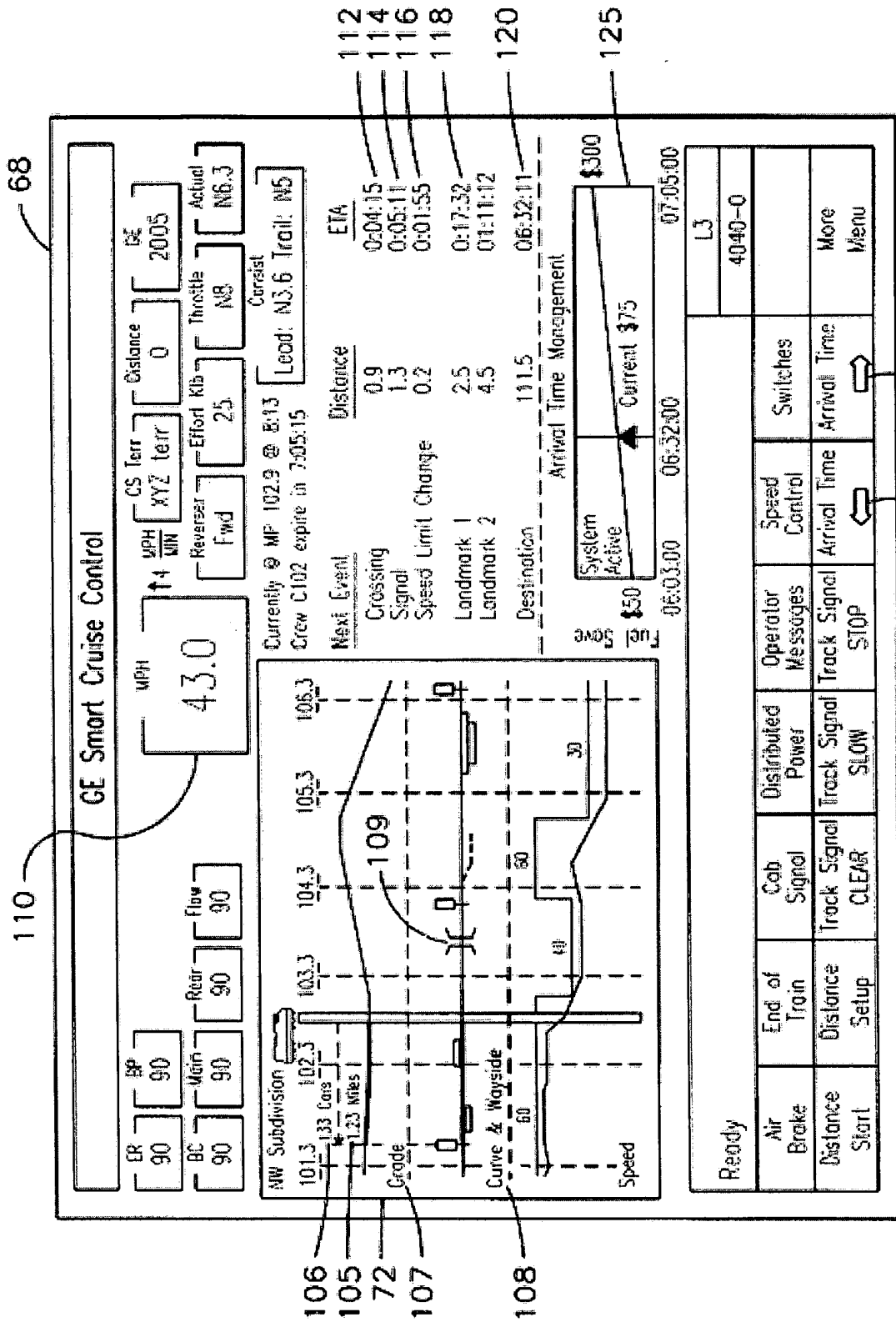


FIGURA 6

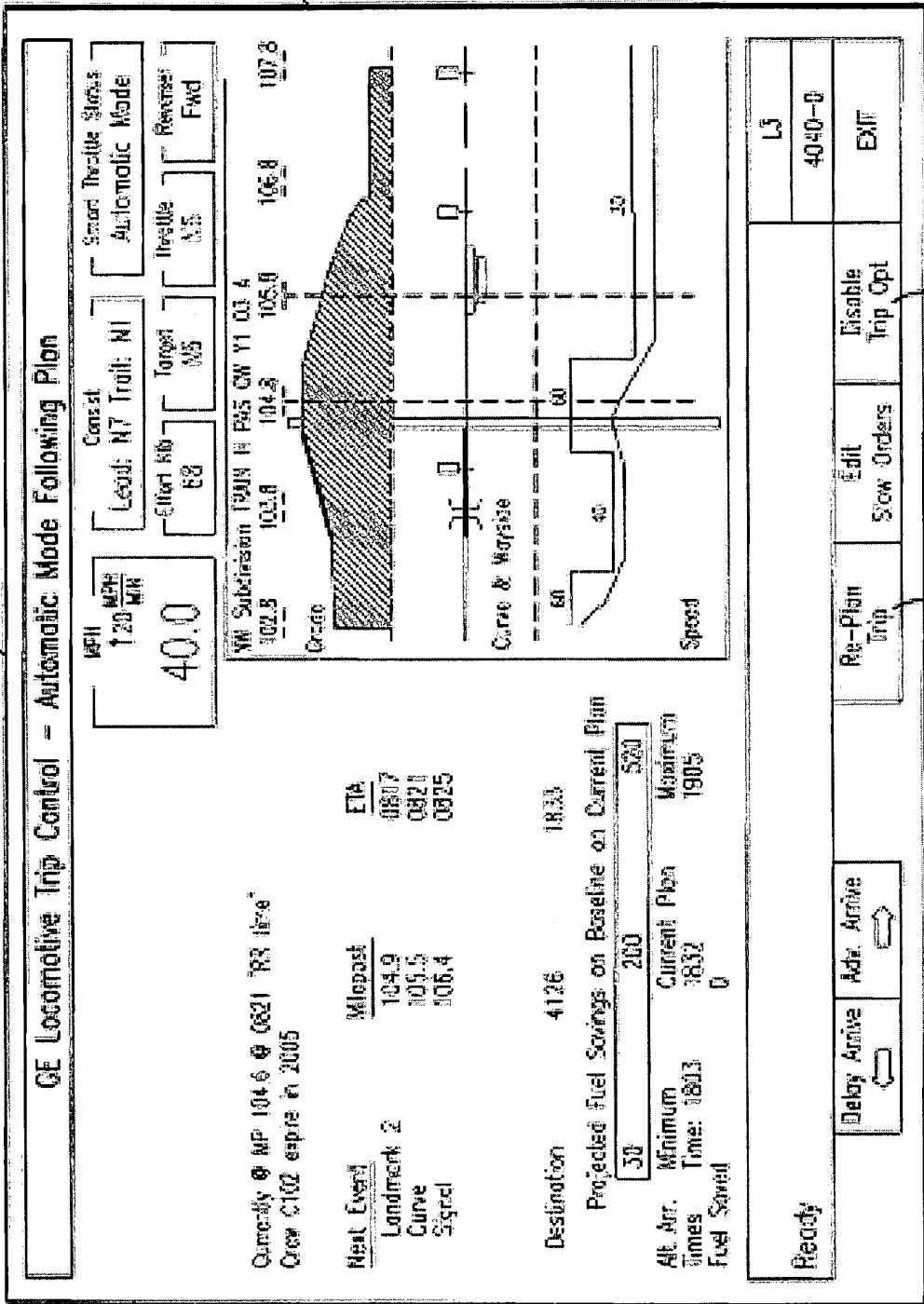




Ready	Air Brake	Distance Start	End of Train	Cab Signal	Track Signal CLEAR	Distributed Power	Track Signal SLOW	Operator Messages	Speed Control	Switches	Arrival Time	More Menu
-------	-----------	----------------	--------------	------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	---------------	----------	--------------	-----------

FIGURA 8

68



72

130 Dados do Grupo Motriz

132 Eventos [L] & Gráfico de Situação [R]

134 Gestãode Horário de Chegada

136 Teclas de Ação

FIGURA 9

138

140

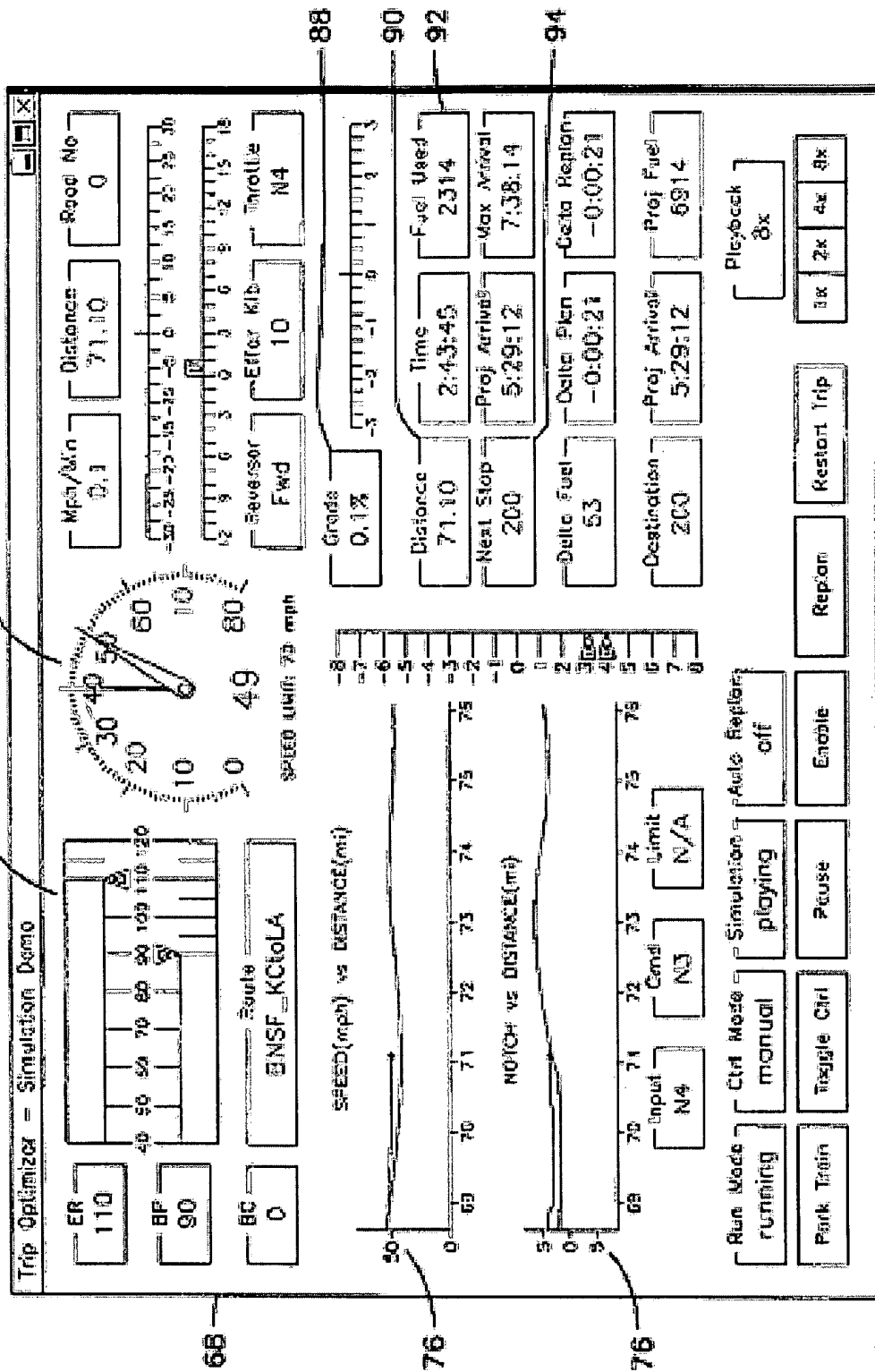


FIGURA 10

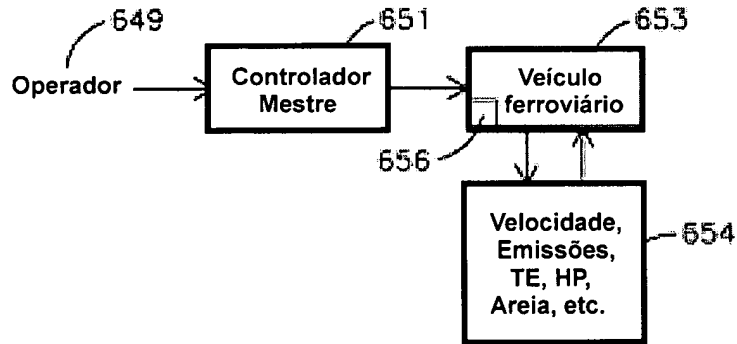


FIGURA 11
ESTADO ANTERIOR DA ARTE

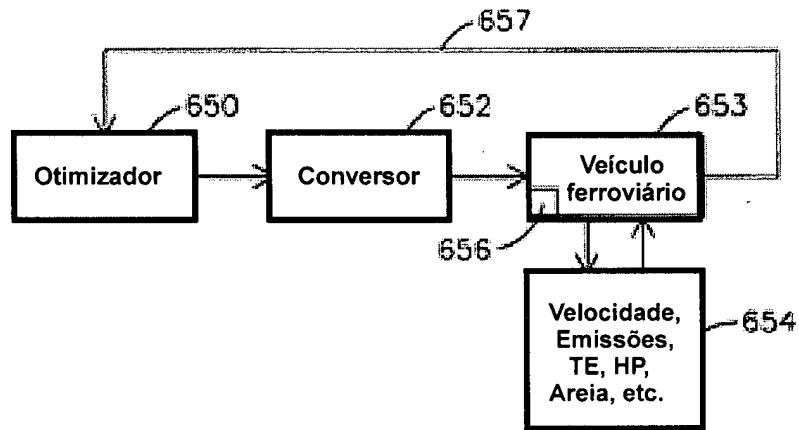


FIGURA 12

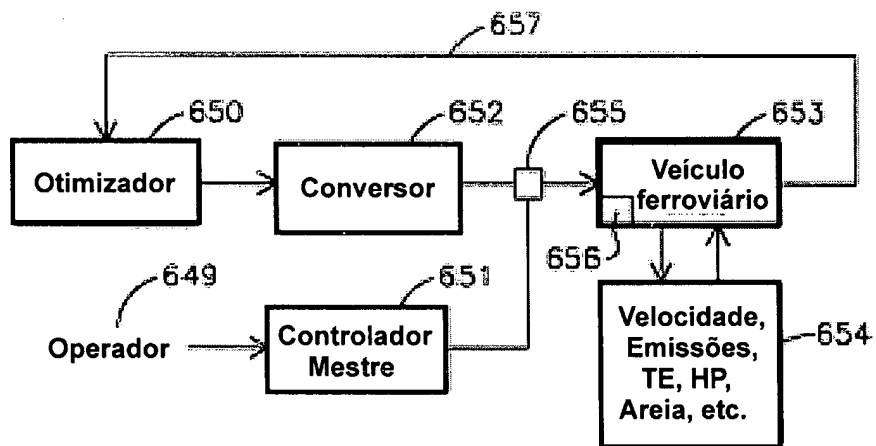


FIGURA 13

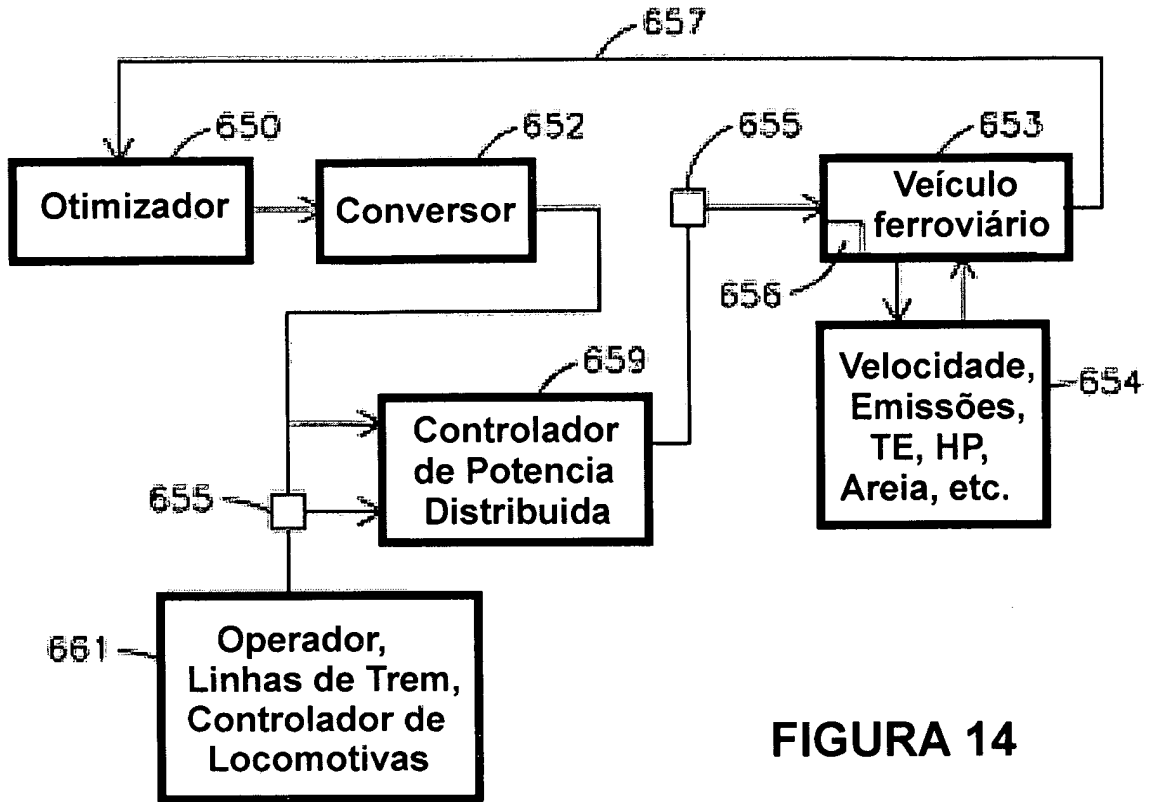


FIGURA 14

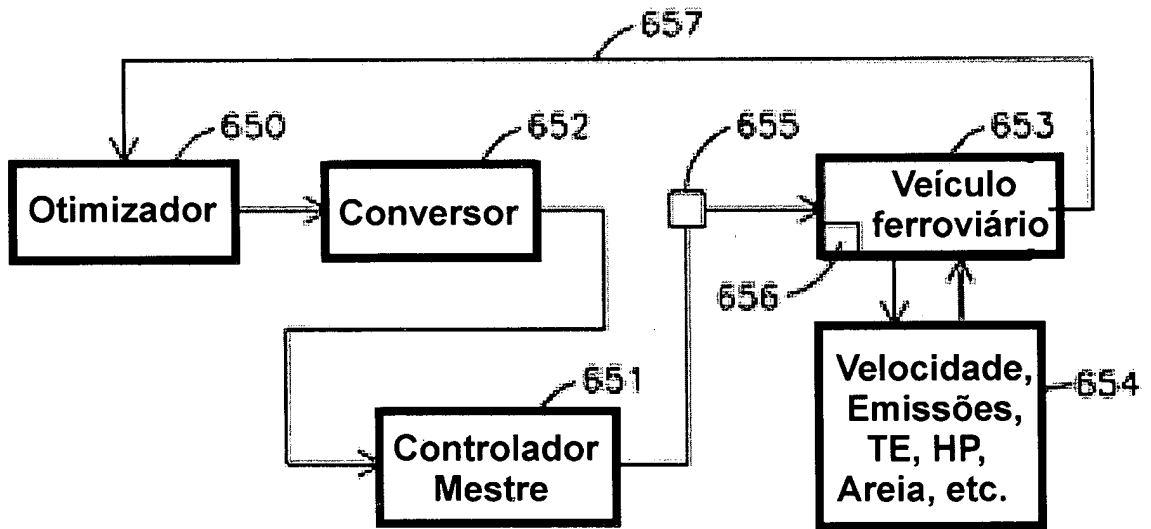


FIGURA 15

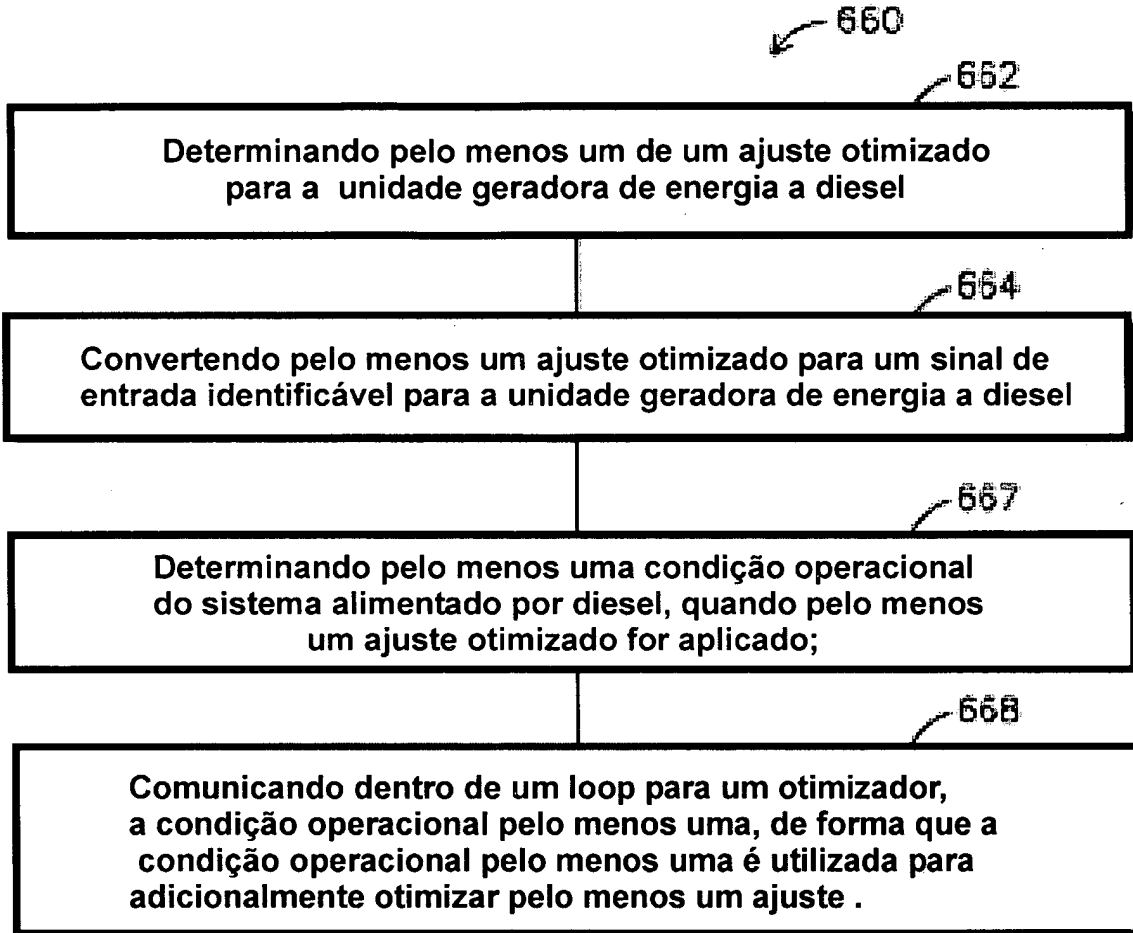


FIGURA 16

Resumo

Sistema e método de otimização de viagem para um trem.

Um sistema de controle para operar um sistema de tração a diesel apresentando ao menos uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, o sistema incluindo um otimizador de missão, o qual determina ao menos um ajuste para ser usado por uma unidade de geração de potência alimentada a diesel, um conversor que recebe ao menos uma informação que deve ser usada pela unidade de geração de potência alimentada a diesel e converte a informação em um sinal aceitável, um sensor para coletar ao menos um dado operacional, a partir do sistema de tração a diesel, o qual é comunicado para o otimizador de missão e um sistema de comunicação que empreende um loop fechado de controle entre o otimizador de missão, o conversor e o sensor.