



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

(21) BR 102018074144-6 A2



(22) Data do Depósito: 23/11/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 02/06/2020

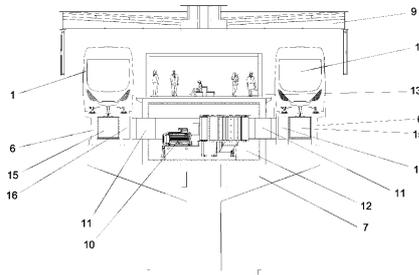
(54) **Título:** SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS

(51) **Int. Cl.:** B61B 13/12; B61C 11/06; B66F 7/00; B66F 7/02.

(71) **Depositante(es):** AEROM REPRESENTAÇÕES E PARTICIPAÇÕES LTDA..

(72) **Inventor(es):** DIEGO ABS DA CRUZ; MARCUS COESTER; OSCAR HANS WOLFGANG COESTER.

(57) **Resumo:** O sistema de propulsão é constituído por veículos (1) com quatro rodas (2) com um dos eixos conectado a um mastro (3) fixado na placa de propulsão (4). Os veículos (1) deslocam-se em trilhos (5) das vias elevadas (6) apoiadas por pilares (7). O topo das vias elevadas (6) possui rasgos longitudinais (8) para passagem dos mastros (3) das placas de propulsão (4). A via elevada (6) é dupla com dois grupos motopropulsores (10) para operação com propulsão em modo empurra e/ou puxa, um para cada via elevada (6). Os grupos motopropulsores (10, 10?) são instalados no interior de salas de máquinas (12) sob o pavimento das estações de passageiros (9) apoiadas sobre pilares (7). Os grupos motopropulsores (10, 10?) são ligados às vias elevadas (6) através de dutos de conexão (11). Dutos secundários de propulsão (16) são dispostos em paralelo com o duto de propulsão (15) e associado à sua respectiva válvula de direcionamento de fluxo (29A, 29B) que permite que o fluxo de ar gerado pelo grupo motopropulsor (10) seja descarregado no duto de propulsão (15) em duas posições distintas. Completa o arranjo de propulsão pneumática conjuntos de válvulas de isolamento de trecho de via (17), conjunto de válvulas atmosféricas (18), conjunto de quatro válvulas de controle de fluxo (23A, 23B, 23C, 23D) montadas nos dutos de conexão (11) dos grupos motopropulsores (10, 10?) e válvulas de direcionamento de (...).



## **“SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS”**

### **INTRODUÇÃO**

[001] A presente invenção refere-se ao aperfeiçoamento desenvolvido em sistema de propulsão pneumática para transporte de passageiros e/ou cargas, cuja integração dos equipamentos e arranjos o tornam de alta capacidade e máxima flexibilidade operacional.

### **ESTADO DA TÉCNICA**

[002] Os documentos de patente PI 7703372-8, PI 7906255-5, PI 8301706-2, PI 8503504-1, PI 9502056-0, PI 9814160-0, PI 9912112-3, PI 0805188-7 e PI 0901119-6 descrevem um sistema de transporte pneumático que é composto de veículos leves dotados, preferencialmente, de truques contendo quatro rodas metálicas cada um, sendo pelo menos um dos eixos conectado a um mastro parafusado a uma placa de propulsão, que é a responsável pela conversão do empuxo do fluido em trabalho mecânico para movimentação dos veículos sobre trilhos ferroviários assentados sobre uma via elevada especial.

[003] Montada sobre pilares verticais, a via elevada, além da função clássica de sustentação e direcionamento dos veículos, caracteriza-se também por constituir-se em seu duto de propulsão, dispositivo encarregado da criação do meio físico para contenção e propagação do fluxo de ar gerado por grupos motopropulsores estacionários. Integrados por um ventilador industrial de serviço pesado e um conjunto de válvulas, os grupos motopropulsores são responsáveis por elevar ou reduzir a pressão no interior vazado das vigas que formam a via elevada.

[004] A associação entre duto e placas de propulsão resulta em uma segurança intrínseca do sistema de transporte baseado em propulsão pneumática, pois caracteriza-se como um dispositivo

antidescarrilamento e antitombamento do veículo, que permanece permanentemente ancorado ao interior do duto de propulsão.

[005] O documento PI 7906255-5 detalha uma evolução do sistema de transporte pneumático, cujo grupo motopropulsor possui um duto de admissão dotado de válvula de controle de fluxo e alternador de fluxo para gerar pressão ou depressão no interior do duto de propulsão da viga sobre a qual se desloca o veículo. A viga duto possui válvulas de controle de fluxo do ar oriundo dos dutos de ligação e gerados pelo grupo motopropulsor e válvulas de conexão com a atmosfera.

[006] O documento PI 8301706 detalha outra evolução do sistema de transporte pneumático, cujo grupo motopropulsor possui dutos de ligação dotados de válvulas borboleta para controle de fluxo que dispensam o alternador de fluxo para gerar pressão ou depressão no interior do duto de propulsão da viga. O duto de propulsão possui válvulas de conexão com a atmosfera.

[007] O documento PI 9502056-0 detalha ainda outra evolução do sistema de transporte pneumático, cujo grupo motopropulsor possui um único duto de ligação que é também dotado de válvulas borboleta para controle de fluxo e que dispensam o alternador de fluxo para gerar pressão ou depressão no interior do duto de propulsão da viga. O duto de propulsão possui válvulas de alívio de pressão para a atmosfera, válvulas de isolamento de trecho e duto secundário de propulsão que permite que o fluxo de ar gerado pelo grupo motopropulsor seja descarregado no duto de propulsão em duas posições distintas, resultando em um empuxo na placa de propulsão de um veículo localizado dentro da zona de influência do duto secundário de propulsão. A zona do duto secundário de propulsão é normalmente posicionada na região central da plataforma de embarque das estações, sendo necessária uma para cada via. A sua extensão é de, no mínimo, o

equivalente ao comprimento do veículo mais longo projetado para operar na linha específica. Esse documento não detalha as características técnico-construtivas do duto secundário de propulsão e, tampouco, as suas ligações com a via elevada, restringindo-se a apresentação de um mero diagrama esquemático simplificado.

[008] Entretanto, nenhum documento do estado da técnica prevê um sistema pneumático de transporte para passageiros e/ou carga com alta capacidade, isto é, que apresente arranjos de equipamentos para movimentação e controle que possibilitem que os veículos se desloquem simultaneamente em duas linhas e/ou com, pelo menos, dois veículos podendo se movimentar entre duas estações de cada linha ao mesmo tempo.

#### SOLUÇÃO DA INVENÇÃO

[009] É objetivo da presente invenção o aperfeiçoamento em sistema de propulsão pneumática para transporte de passageiros e/ou cargas de alta capacidade que apresenta as seguintes características técnicas:

- Equipamentos propulsão apropriadamente associados entre si, via elevada que forma o duto de propulsão, grupos motopropulsores, válvulas de controle de fluxo, válvulas de isolamento de trecho, válvulas atmosféricas, válvulas de alívio de pressão, dutos secundários de propulsão, válvulas de direcionamento de fluxo e aparelhos de mudança de via dispostos em travessões;
- Grupo motopropulsor elevado, abrigado em salas de máquinas dentro da própria estação localizadas imediatamente abaixo da plataforma de embarque e desembarque de passageiros e, conseqüentemente, com insuflamento de ar diretamente na face lateral da via elevada;
- Arranjo de componentes de propulsão pneumática e de controle de tráfego de veículos para operação em vias duplas, propiciando

também o tráfego de mais de um veículo entre duas estações, quando assim projetado;

- O conjunto de válvulas atmosféricas, válvulas de isolamento de trecho, válvulas de controle de fluxo, válvulas de direcionamento de fluxo associadas a uma distribuição de grupo motopropulsores que tornam o sistema de alta capacidade, bem como possibilitam a continuidade da operação mesmo quando da necessidade dos veículos trocarem de via em caso de indisponibilidade de trechos da via, falha de um ou mais desses componentes de propulsão pneumática ou de veículo;
- Arranjo de componentes de propulsão pneumática de modo a prover flexibilidade para aumento gradual da capacidade de transporte, possibilitando a operação, na mesma linha, desde um sistema que oferte baixa capacidade inicial de transporte até um no qual a máxima capacidade de transporte do sistema de propulsão pneumática pode ser atingida com grande grau de redundância operacional, sem necessidade de onerosas intervenções posteriores;
- Circuito de propulsão para uma linha complexa em regime de operação normal em carrossel (*pinched-loop*), isto é, uma via dupla com circulação bidirecional de veículos e retorno no sentido oposto em ambas as extremidades, através de terminais de manobra compostos por ao menos um travessão cada, preferencialmente, dois travessões instalados por terminal de manobra, por critério de redundância e flexibilidade operacional, sendo um em cada extremidade da estação;
- Além dos terminais de manobra, travessões adicionais são estrategicamente incluídos nas estações para permitir o seu eventual contorno (*by pass*) pelo sentido reverso em uma ou mais seções ou, ainda, para interligação pneumática entre ambas vias, permitindo criar circuitos alternativos em casos específicos;
- Prevê esperas para acoplamento de equipamentos de propulsão que

correspondem às aberturas necessárias no infradorso e lateral das vigas da via elevada para a passagem do ar, sendo previamente executadas no momento de sua construção;

- Arranjo no qual há pelo menos um grupo motopropulsor abrigado em uma estação central localizada entre duas estações imediatamente adjacentes sob sua influência direta, o que resulta em uma perda de carga distribuída reduzida à metade durante a propulsão do veículo, em função do encurtamento da distância a ser percorrida pela corrente de ar, elevando assim ainda mais o rendimento energético do sistema;
- Arranjo de propulsão que permite a utilização, com o menor bloco de controle possível, de todos os grupos motopropulsores tanto em modo pressão (*push*) quanto em sucção (*pull*), devido à presença de uma válvula de isolamento de trecho a montante e a jusante de cada grupo motopropulsor, garantindo ampla redundância e flexibilidade operacional para o sistema de propulsão; e
- Um arranjo de propulsão que permite a reversão do sentido normal de marcha do veículo na via elevada, tanto na integralidade da linha quanto em uma ou mais de suas seções, através da instalação de válvula atmosférica a montante e a jusante de cada grupo motopropulsor, tornando possível a aproximação de um veículo em qualquer um dos dois sentidos.

#### VANTAGENS DA INVENÇÃO

[010] O aperfeiçoamento em sistema de propulsão pneumática para transporte de passageiros e/ou cargas, proposto pela presente invenção, resulta nas seguintes vantagens em relação ao estado da técnica:

- Casa de máquinas sob a plataforma da estação de passageiros que permite fácil, rápido e seguro acesso à sala de máquinas, reduz significativamente o impacto visual geral do sistema e protege os

- equipamentos contra alagamentos e vandalismos, assim como facilita o isolamento acústico do ruído gerado pelas máquinas rotativas;
- Segmento de duto secundário de conexão paralelo ao duto de propulsão que torna o sistema de transporte pneumático de alta capacidade, projetado de modo a reduzir as irreversibilidades termodinâmicas do sistema de propulsão pneumática a partir da diminuição das perdas de carga localizadas, bem como torna a instalação mais compacta, permitindo a inserção do grupo motopropulsor dentro do espaço limitado disponível no pavimento técnico das estações de passageiros;
  - Arranjo de componentes de propulsão pneumática e de controle de tráfego dos veículos que operam em duas linhas e com previsão de troca de linha em caso de pane de algum desses componentes, indisponibilidade de trechos da via e/ou falha do veículo, resultando em máximo desempenho em termos de consumo energético do sistema, custo de capital, custo operacional e do nível de serviço ofertado;
  - Grande flexibilidade na instalação das linhas, ofertando desde capacidades iniciais menores de transporte até capacidades elevadas compatíveis com sistemas de transporte de massa;
  - Possibilita o incremento progressivo na quantidade dos equipamentos de propulsão, seguindo uma lógica pré-estabelecida ainda na fase de projeto operacional, que acompanha o crescimento da demanda de passageiros ao longo da vida útil do sistema de propulsão pneumática reduzindo os custos iniciais de investimento;
  - Circuito de propulsão que permite operar uma linha complexa em regime de operação normal em carrossel (*pinched-loop*), isto é, uma via dupla com circulação bidirecional de veículos e retorno no sentido oposto em ambas as extremidades com terminais de manobra;

- Prevê esperas para ampliação da capacidade de transporte das linhas com o acoplamento de equipamentos de propulsão, em tipos, quantidade e localização definidas na fase de projeto;
- Confere elevado grau de redundância e flexibilidade operacional ao sistema de propulsão pneumática, que consegue então acomodar eventuais falhas, combinadas ou não, em um ou mais grupos motopropulsores, válvulas de via, travessões e/ou indisponibilidade para tráfego em trechos de via entre duas ou mais estações, possibilitando ao menos um modo de operação degradada no pior cenário concebível, ou até mesmo a operação normal, sem afetar o desempenho geral do sistema de transporte, nos casos menos críticos.

#### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[011] O aperfeiçoamento em sistema de propulsão pneumática para transporte de passageiros e/ou cargas de alta capacidade da presente invenção passa a ser descrito detalhadamente com base nas figuras em anexo abaixo listadas:

Figura 1 – vista lateral do veículo sobre a via elevada;

Figura 2 – vista superior do veículo sobre a via elevada;

Figura 3 – vista frontal do veículo sobre a via elevada;

Figura 4 – vista superior de uma estação de passageiros no nível do pavimento técnico;

Figura 5 – vista frontal da estação de passageiros;

Figura 6 – vista lateral da estação de passageiros;

Figura 7 – perspectiva do grupo motopropulsor acoplado à via;

Figura 8 – perspectiva explodida do grupo motopropulsor e da via;

Figura 9 – diagrama de um primeiro arranjo dos equipamentos de propulsão;

Figura 10 – diagrama de um segundo arranjo dos equipamentos de propulsão;

Figura 11 – diagrama de um terceiro arranjo dos equipamentos de propulsão;

Figura 12 – diagrama de um quarto arranjo dos equipamentos de propulsão;  
Figura 13 – diagrama de um quinto arranjo dos equipamentos de propulsão;  
Figura 14 – diagrama de um sexto arranjo dos equipamentos de propulsão;  
Figura 15 – diagrama de um sétimo arranjo dos equipamentos de propulsão.

[012] As figuras 1 a 3 ilustram o sistema de propulsão pneumática que é constituído de veículos (1), dotados preferencialmente de dois ou mais truques, compostos cada qual por quatro rodas metálicas (2) de núcleo resiliente, sendo um dos eixos conectado a um mastro (3) fixado a uma placa de propulsão (4), que é a responsável pela conversão do empuxo fluídico da corrente de ar comprimido em trabalho mecânico. Os veículos (1) deslocam-se sobre trilhos ferroviários (5) assentadas sobre uma via elevada (6) apoiada por pilares (7). No centro do topo da superestrutura da via elevada (6) há um rasgo longitudinal (8) através do qual é permitida a livre passagem do mastro (3) da placa de propulsão (4) ao longo do trajeto.

[013] As figuras 4 a 6 ilustram uma estação de embarque e desembarque (9) na configuração preferida em ilha central, com grupos motopropulsores (10, 10' e 10'), preferivelmente elevados, de maneira que o seu duto de conexão (11) se una à face lateral da via elevada (6). Os grupos motopropulsores (10, 10' e 10') são instalados no pavimento técnico das estações de passageiros (9) apoiadas sobre pilares (7), no interior de uma sala de máquinas (12), localizada no patamar imediatamente inferior ao da plataforma (13) da estação de embarque (9). A admissão e exaustão do ar para dentro da sala de máquinas (12) se dá através de atenuadores acústicos (14). O conjunto dos quatro dutos de conexão (11) é responsável pela união no duto de propulsão (15) dos quatro grupos motopropulsores (10, 10'), sendo que dois dos quais, posicionados centralmente, são também unidos cada qual a seu respectivo duto secundário de propulsão (16).

[014] Integram o arranjo do sistema de propulsão pneumática as válvulas de isolamento de trecho de via (17) que são posicionadas a montante e a jusante dos dutos de conexão (11) dos grupos motopropulsores (10, 10') nos dutos de propulsão (15) e se destinam a bloquear o fluxo de ar no trecho correspondente das vias (6). Integram ainda o arranjo do sistema de propulsão pneumática as válvulas atmosféricas (18) que são posicionadas ao lado das válvulas de isolamento de trecho de via (17) e se destinam à tomada de ar externo no trecho correspondente das vias (6).

[015] O sistema de propulsão da invenção é constituído de via elevada (6) dupla onde são instalados dois grupos motopropulsores (10) para os casos de operação em que somente a propulsão em modo *push* (empurra) ou *pull* (puxa) é requerida, um dedicado para cada via elevada, para atender ambos os sentidos de tráfego. Nessa aplicação de alta capacidade de transporte, a propulsão *push-pull* é obrigatoriamente requerida para manutenção dos mesmos níveis de desempenho dinâmico, sendo então necessário acrescentar mais dois grupos motopropulsores (10') por sala de máquinas.

[016] A válvula de isolamento de trecho (17) compartimenta um circuito de propulsão em relação a outro adjacente pela interrupção física do duto de propulsão (15) e conseqüente boqueio da passagem do ar no interior das vias (6). Possuindo mecanismo de acionamento montado no infradorso da via elevada (6), a válvula de isolamento de trecho (17) assume apenas duas posições: totalmente aberta ou totalmente fechada, sendo sua falha-segura caracterizada pelo travamento na última posição conhecida. Na posição aberta o duto de propulsão (15) é desobstruído permitindo o livre escoamento do ar e a passagem das placas de propulsão (4) do veículo (1). O seu cruzamento por sobre uma válvula de isolamento de trecho (17) aberta permite o

ingresso na próxima seção ou circuito de propulsão. Tipicamente as válvulas de isolamento de trecho (17) separam seções de via (6), definindo circuitos de propulsão independentes e seus respectivos blocos de controle exclusivos para cada veículo.

[017] A válvula atmosférica (18) abre ou fecha a comunicação entre o duto de propulsão (15) e a atmosfera, podendo operar aberta, fechada ou assumindo posições intermediárias, como forma para controle da frenagem pneumática dos veículos. Sua posição falha-segura é sempre fechada, para tanto deve obrigatoriamente ser equipada com dispositivo falha-segura. Montada no infradorso da via elevada (6), a válvula atmosférica (18) possui funções complementares às do grupo motopropulsor (10) ao estabelecer um circuito de propulsão adequado à tração do veículo (1). A válvula atmosférica (18) possui as seguintes funções primárias e secundárias:

- a) Permitir ou bloquear a passagem de ar da/para atmosfera, quando aberta ou fechada, respectivamente;
- b) Atuar como redundância a um grupo motopropulsor (10, 10') adjacente, quando a geração de fluxo de ar por este não se fizer necessária, contudo haja exigência de ligação com a atmosfera para continuidade do movimento do veículo;
- c) Reduzir a perda de carga através do aumento da área de passagem do ar em pontos estratégicos de um excessivamente longo circuito de propulsão pela redução do comprimento deste;
- d) Controlar a frenagem pneumática dos veículos (freio de serviço) através de múltiplos ciclos de abertura e fechamento ou de fechamento proporcional;
- e) Atuar como freio de emergência dos veículos pelo seu fechamento total; e
- f) Criar ou modificar circuitos de propulsão em conjunto com as válvulas

de isolamento de trecho (17) e grupos motopropulsores (10, 10'), conforme necessário para o controle do veículo (1) dentro desses circuitos.

[018] A perda de carga localizada induzida, que gera a contrapressão no interior do duto de propulsão (15) para controle da frenagem pneumática do veículo (1) é produto da atuação controlada da válvula atmosférica (18). Para fins de regulagem, as lâminas da válvula atmosférica (18) podem assumir posições intermediárias entre o estado totalmente aberto e o totalmente fechado, ou apenas chavear diretamente entre ambos extremos.

[019] Os ganhos desta solução são muitos, destacando-se:

- i) a introdução de uma forma efetiva de dosagem fina do freio pneumático, o que reduz ao mínimo o sobressinal da taxa de desaceleração efetiva em relação à programada;
- ii) redução da sobreaceleração (taxa de variação da aceleração) dos veículos (1), resultando em aumento de conforto aos passageiros embarcados; e
- iii) redução do desgaste dos componentes mecânicos do freio de atrito, uma vez que este passa a ser propositalmente subutilizado devido ao aumento da eficiência do freio pneumático.

[020] Durante a frenagem pneumática, em circunstâncias extraordinárias em que as pressões no duto de propulsão (15) possam ultrapassar àquelas normais de trabalho, em especial quando da eventual ausência do sinal do transdutor de pressão, ou no caso de leitura de valores espúrios, uma válvula de alívio de pressão (19) mecânica será acionada automaticamente para regularizá-la. A montagem da válvula de alívio de pressão (19), ilustrada na figura 8, pode ser feita na laje superior da via elevada (6) ou em qualquer face do duto de conexão (11) ao duto de propulsão (15).

[021] O duto secundário de propulsão (16), construído em paralelo com o duto de propulsão (15) e associado à sua respectiva válvula de direcionamento de fluxo (29), ilustrada na figura 8, permite que o fluxo de ar gerado pelo grupo motopropulsor (10) seja descarregado no duto de propulsão (15) em duas posições distintas, estabelecendo um empuxo do tipo *push* ou *pull* aplicado à placa de propulsão (4) de um veículo (1) localizado dentro da zona do duto secundário de propulsão (16). A zona do duto secundário de propulsão (16) é normalmente posicionada na região central da plataforma de embarque (13) das estações (9), sendo necessária uma para cada via (6). Sua extensão é delimitada pela distância medida na via (6) entre a abertura para ligação do duto secundário de propulsão (16) ao duto de propulsão (15) e a ligação do duto de conexão (11) ao duto de propulsão (15). Esta distância é, no mínimo, equivalente ao comprimento do veículo (1) mais longo projetado para operar em uma aplicação específica.

[022] As figuras 7 e 8 detalham um dos grupos motopropulsores (10) que geram o fluxo de ar no interior da via elevada (6) e que são constituídos por um acionamento motriz (20) de velocidade variável unido através de acoplamento elástico a um ventilador industrial (22) de serviço pesado do tipo centrífugo ou axial de alto rendimento energético e com curva característica própria para atendimento dos requisitos particulares do sistema de propulsão pneumática.

[023] Os grupos motopropulsores (10, 10') podem ser convenientemente associados em série para somatório de pressão e em paralelo, para somatório de vazão em dois ou mais estágios, ou ainda, em uma combinação desses. As pressões manométricas de trabalho podem tipicamente atingir até 20 kPa, acima ou abaixo da pressão atmosférica.

[024] Os veículos do sistema de propulsão pneumática

operam segundo os regimes de propulsão “empurra” (pressão ou *push*), “puxa” (sucção ou *pull*) e “empurra-puxa” (*push-pull*), respectivamente, pressão positiva, pressão negativa e pressão positiva/negativa. A pressão positiva é aplicada à placa de propulsão a montante de forma simultânea à aplicação de pressão negativa a jusante, resultando em empuxo líquido dobrado durante a fase de aceleração do veículo, sem qualquer sacrifício dos componentes mecânicos ou estrutura da via elevada, uma vez que o esforço exercido permanece inalterado.

[025] A condição de pressão manométrica acima ou abaixo da atmosférica é determinada pelo posicionamento de quatro válvulas de controle de fluxo (23) montadas nos dutos de interligação dos grupos motopropulsores (10, 10'). As válvulas de controle de fluxo (23) são preferencialmente do tipo veneziana com lâminas paralelas ou opostas e têm função central no sistema de propulsão pneumática uma vez que, em conjunto com uma válvula atmosférica (18) do duto de propulsão (155), iniciam e mantêm a pressurização no interior da via elevada (6), podendo cessá-la de maneira independente da referida válvula atmosférica (18).

[026] As válvulas de controle de fluxo são de quatro tipos: válvula de controle de pressão (23A), válvula de controle de segurança de pressão (23B), válvula de controle de sucção (23C) e válvula de controle de segurança de sucção (23D). A válvula de controle de pressão (23A) e válvula de controle de sucção (23C) são responsáveis pela admissão de ar no cone de entrada do ventilador (22) do grupo motopropulsor (10) e podem ter abertura proporcional ou multiestágios para dosagem da vazão de ar, ou somente assumir as duas posições extremas de fim de curso. As válvulas de controle de segurança (23B e 23D) são aquelas responsáveis pela descarga de ar na saída do ventilador (22) do grupo motopropulsor (10) e assumem somente uma

das duas posições extremas de fim de curso possíveis. Considerando que sua posição segura é sempre fechada, devem obrigatoriamente serem equipadas de dispositivo falha-segura. Quando todas as válvulas de controle de fluxo (23) são postas em posição fechada o ventilador (22) roda em vazio no modo de espera.

[027] A combinação das válvulas de controle de fluxo (23A a 23D) pode ser ainda tal que permita a ligação do duto de propulsão (155) à atmosfera, emulando a função de uma válvula atmosférica (18), quando o ventilador (22) estiver desligado ou em modo de espera. Para tanto é necessário que a válvula de controle de pressão (23A) e a válvula de controle de sucção (23C) ou a válvula de controle de segurança de pressão (23B) e válvula de controle de segurança de sucção (23D) sejam comandadas em conjunto. Nas fases de aceleração e cruzeiro, o controle das marchas-tipo pré-programadas dos veículos (1) se dá através dos grupos motopropulsores (10, 10') com o uso das estratégias de variação da velocidade angular dos rotores dos ventiladores (22), da variação do ângulo de abertura das lâminas das válvulas de controle de fluxo (23A a 23D) ou uma combinação de ambos.

[028] A propulsão pneumática é utilizada tanto para acelerar os veículos (1), quanto para regular a velocidade de cruzeiro e, tão importante quanto, como freio pneumático do sistema de transporte e seu principal modo de desaceleração. Essa frenagem é causada pelo trabalho de compressão e/ou expansão do ar confinado no interior do duto de propulsão (15), a jusante e/ou a montante da placa de propulsão (4) (4) do veículo, respectivamente. A frenagem é iniciada pelo fechamento concomitante das válvulas de controle de fluxo (23) do grupo motopropulsor (10) e válvulas atmosféricas (18) do duto de propulsão (15). A frenagem pneumática externa do veículo (1) é suplementada pelo tradicional freio embarcado de atrito, via pinça e disco de freio, para fins

de precisão de parada, em especial para posicionamento das suas portas em pleno alinhamento com as portas automáticas da plataforma de embarque e desembarque (13) das estações de passageiros (9).

[029] A ausência de motores embarcados nos veículos (1) e o consequente uso de propulsão externa gerada remotamente a partir dos grupos motopropulsores (10, 10') permite uma continuidade da operação do sistema de transporte mesmo na eventual indisponibilidade de um ou mais desses grupos, não afetando diretamente nenhum veículo (1) em especial.

[030] Compõe parte do conjunto de dutos de interligação dois segmentos idênticos, sendo o primeiro segmento (24) instalado na admissão à caixa de entrada (26) do ar e o segundo segmento (25) montado na boca de descarga do ventilador (22), ambos conectados a um pleno (27) que faz a convergência do fluxo de ar em direção ao duto de conexão (11), concebido para estabilização do escoamento até o duto de propulsão (15).

[031] O pleno (27) possui quatro aberturas para passagem de ar, onde são montadas as válvulas de controle de fluxo: de sucção (23C) conectada à admissão de ar, de segurança (23B) conectada na descarga do ventilador (22) e as válvulas de direcionamento de fluxo (29A e 29B) para o interior do duto de conexão (11) e para o duto secundário de propulsão (16), respectivamente. Após a válvula de direcionamento de fluxo (29B) há ainda um segmento de duto secundário (28) para interligação ao duto secundário de propulsão (16).

[032] Em associação com a figura 4, verifica-se que as válvulas de direcionamento de fluxo (29A e 29B) são montadas no duto de interligação tipo pleno (27) do grupo motopropulsor (10) e, quando associada com seu respectivo duto secundário de propulsão (16), permite a passagem de um veículo (1) por sobre a descarga do duto de

conexão (11) do grupo motopropulsor (10) para o duto de propulsão (15), sem a interrupção do empuxo de propulsão ou geração de indesejável contrapressão e, conseqüentemente, trabalho negativo.

[033] A válvula de direcionamento de fluxo (29A ou 29B) e o duto secundário de propulsão (16) desviam convenientemente o fluxo de ar para uma das placas de propulsão (4) do veículo (1), a montante ou a jusante, de forma a manter sempre um empuxo efetivo sobre o veículo (1) e assim movê-lo em um ou outro sentido em circunstâncias em que a placa de propulsão (4) esteja passando por sobre o ponto de descarga do grupo motopropulsor (10) ou ainda quando o volume da câmara formada entre as duas placas de propulsão (4) do veículo (1) estiver no ponto de descarga do referido grupo motopropulsor (10).

[034] São empregadas duas unidades de válvula de direcionamento de fluxo: unidade A (29A) e unidade B (29B), que trabalham normalmente como duas válvulas em sincronia, alternando-se nas posições totalmente aberta e totalmente fechada, suas únicas posições possíveis. Uma vez que a posição falha-segura de ambas as unidades (29A e 29B) é sempre fechada, estas devem ser preferivelmente equipadas de dispositivo falha-segura. A válvula de direcionamento de fluxo unidade A (29A) é instalada entre o grupo motopropulsor (10) e o duto de propulsão (15) fornecendo conexão direta do fluxo de ar entre eles. A válvula de direcionamento de fluxo unidade B (29B) é instalada entre o grupo motopropulsor (10) e o duto secundário de propulsão (16) de maneira a desviar o fluxo de ar gerado pelo grupo motopropulsor (10) através do segmento de duto secundário de propulsão (28), para um ponto distinto de ligação com a via elevada (6).

[035] Em sua aplicação típica, quando localizada junto às estações de passageiros (9), a válvula de direcionamento de fluxo (29), em conjunto com seu respectivo grupo motopropulsor (10) e duto

secundário de propulsão (16), permite ajustar a configuração do circuito de propulsão para as seguintes situações:

- a) Chegada, parada e partida de um veículo (1) dentro de uma zona de duto secundário de propulsão (16);
- b) Passagem de um veículo (1) pela descarga do duto de conexão (11) de um grupo motopropulsor (10) que esteja o propelindo, com ou sem parada na zona de duto secundário de propulsão (16);
- c) Ingresso do veículo (1) no circuito de propulsão adjacente ou bloco de controle a partir de um bloco de controle de estação;
- d) Movimentação de um veículo (1) localizado dentro de uma zona de duto secundário de propulsão (16) em um ou outro sentido em relação ao respectivo grupo motopropulsor (10); e
- e) Manobra ou reposicionamento de um veículo (1) em relação à plataforma da estação (13) sempre que o veículo parar fora da posição de projeto, movendo o veículo em um ou outro sentido dentro da zona de duto secundário de propulsão (16).

[036] Em casos de necessidade, o duto secundário de propulsão (16) pode ser usado para cobrir longas distâncias, para além do domínio das estações de passageiros, constituindo-se em um meio para condução do ar desde um grupo motopropulsor (10) afastado até um determinado ponto na via elevada (6) no qual faça-se necessária a descarga de ar, mas que por virtude de alguma impossibilidade física, um grupo motopropulsor ali não puder ser instalado.

[037] A válvula de direcionamento de fluxo (29) tem as seguintes configurações e respectivos efeitos sobre o sistema de propulsão, conforme posição de suas unidades:

- (a) Ambas unidades A (29A) e B (29B) fechadas: esta configuração permite isolar o grupo motopropulsor (10) do duto de propulsão (15). Nesta configuração, a válvula de direcionamento de fluxo (29) permite

que seja realizada a manutenção do grupo motopropulsor (10) durante a operação do sistema devido ao fechamento do duto de propulsão (15) para a atmosfera, independentemente da posição das suas válvulas de controle de fluxo (23). Adicionalmente, essa configuração resulta no fechamento do duto de propulsão (15) para a atmosfera na região do grupo motopropulsor (10), incrementando a segurança do sistema pela adição de redundância para o freio pneumático de emergência.

- (b) Unidade A (29A) aberta e Unidade B (29B) fechada: esta configuração direciona o fluxo de ar para o duto de conexão (11) até o duto de propulsão (15).
- (c) Unidade A (29A) fechada e Unidade B (29B) aberta: esta configuração direciona o fluxo para o duto secundário de propulsão (16) através do segmento de duto secundário (28).
- (d) Ambas unidades A (29A) e B (29B) abertas: esta configuração ocorre somente durante a comutação de posição das unidades das válvulas de direcionamento de fluxo (29), da posição aberta para fechada, ou vice-versa, evitando que estejam simultaneamente fechadas e assim possam interromper temporariamente o fluxo de ar fornecido pelo grupo motopropulsor (10) para o duto de propulsão (15). Esta configuração das unidades A e B permite a continuidade do empuxo de propulsão através da manutenção da posição aberta da unidade que fechar-se-á no momento em que a outra unidade prevista para abrir esteja completamente aberta.

[038] As figuras 9 a 15 ilustram arranjos dos equipamentos do sistema de transporte pneumático da invenção que o tornam de alta capacidade. Ao final de cada via elevada (6) é instalado um tampão de extremidade do duto (30), que consiste em um anteparo metálico parafusado no interior do duto de propulsão (15), emulando uma válvula

de isolamento de trecho permanentemente fechada.

[039] Como em qualquer sistema metroferroviário convencional, travessões (31) são necessários para permitir flexibilidade operacional e oferta de capacidade de transporte elevada. Os travessões (31) são compostos por um par de aparelhos de mudança de via que conectam duas vias elevadas paralelas (6) na região de desvio permitindo o veículo (1) cruzar livremente entre elas. O travessão (31) é composto de quatro vigas solidarizadas entre si, sendo duas delas pertencentes ao desvio e as outras duas às retas adjacentes. Cada travessão (31) contém pelo menos uma válvula de isolamento de trecho (17) com a função de impedir que haja fluxo de ar cruzado entre as vias elevadas (6) de sentido contrário, quando ambos os travessões (31) estão selecionados para a direção tangente.

[040] Reportando-se também à figura 4, o veículo (1) é puxado (modo sucção, ou *pull*) desde a estação anterior (9) à estação central (9) pela ação do grupo motopropulsor (10) nela localizado. Na sequência, o veículo (1) é empurrado (modo pressão, ou *push*) desde a estação central (9), pela ação do mesmo grupo motopropulsor (10), em direção à próxima estação (9), onde é entregue ao próximo grupo motopropulsor (10) e assim consecutivamente.

[041] À distância muito próxima do ponto de descarga do duto de conexão (11) do grupo motopropulsor (10) no duto de propulsão (15), são nele equipadas duas válvulas de isolamento de trecho (17), uma a montante e outra a jusante, sendo esta última introduzida para fins de habilitar a propulsão no modo sucção. O par de válvulas de isolamento de trecho (17) sempre assumem as posições aberta e fechada de forma alternada, nunca podendo estarem ambas fechadas ou abertas durante a operação do sistema.

[042] Cada via (6) tem um sentido de marcha pré-

programado, porém é possível sua reversão na integralidade da linha ou em uma ou mais seções, notadamente para a operação degradada em via singela parcial. Para tanto, as válvulas de isolamento de trecho (17) do arranjo de propulsão, com exceção daquelas localizadas nos travessões (31), vêm acompanhadas de duas válvulas atmosféricas (18), uma a montante e outra a jusante, tornando possível a aproximação de um veículo (1) em qualquer sentido, normal ou reverso.

[043] A figura 9 apresenta um arranjo de propulsão pneumática mais simples para uma operação em carrossel entre cinco estações de passageiros (9A, 9B, 9C, 9D e 9E), com sentido de tráfego em mão inglesa, ou seja, deslocamento oeste-leste na via (6) e leste-oeste na via (6i). No total são quatro veículos em operação (1A, 1Bi, 1C e 1Di) e dois estacionados de reserva (1F e 1Gi), propelidos por quatro grupos motopropulsores (10B, 10D, 10Bi e 10Di) em modo pressão e sucção, alternadamente.

[044] Ambas as vias (6 e 6i) recebem tampões de extremidade de duto (30F, 30G, 30Fi e 30Gi) que exercem a função de válvulas de isolamento de trecho permanentemente fechadas. A linha possui seis travessões, (31Ad, 31Bd, 31Cd, 31Dd, 31Ed e 31Gd), dos quais dois (31Ad e 31Gd) estão normalmente envolvidos na manobra de retorno, enquanto que os demais são reservados para os modos de operação degradada. Os travessões equipam a região das estações (9A, 9C e 9E).

[045] As vias (6 e 6i) apresentam aberturas de espera (32A até 32Fi) previamente preparadas no momento de sua fabricação que são vedadas com tampões metálicos até o acoplamento futuro de novos equipamentos de propulsão, sendo então gradualmente substituídos por válvulas (17 e 18) e grupos motopropulsores (10), conforme o arranjo de propulsão se torne mais completo. Após receberem todos os

equipamentos previstos se transformam nos arranjos representados nas figuras 13 e 15.

[046] Em regime normal de operação, o veículo (1A) parte da estação (9A) em direção à estação (9B) somente após o veículo (1C) estacionar na estação (9C) e as válvulas de isolamento de trecho (17A e 17B”) estiverem em posição fechada e travada, delimitando o circuito de propulsão em questão. A válvula atmosférica (18A) é comandada para a posição aberta, enquanto que as válvulas de isolamento de trecho (17B e 17B’) são mantidas abertas e as válvulas atmosféricas (18B e 18B’) são mantidas fechadas. No grupo motopropulsor (10B) são comandas para abrir a válvula de direcionamento de fluxo (29B’) e as válvulas de controle de fluxo (23C e 23D), enquanto que a válvula de direcionamento de fluxo (29B) e as válvulas de controle de fluxo (23A e 23B) são mantidas fechadas, ativando o modo sucção através do duto (11B).

[047] Simultaneamente à partida do veículo (1A), o veículo (1C) logo à frente, por seu turno, parte da estação (9C) em direção à estação (9D), por ação do grupo motopropulsor (10D) em modo sucção pelo duto de conexão (11D), deslocando-se ao longo do circuito de propulsão delimitado pelas válvulas de isolamento de trecho (17C e 17D”) em posição fechada e travada. Antes do início do movimento, a válvula atmosférica (18C) e as válvulas de isolamento de trecho (17C’, 17D e 17D’) são comandadas para abrirem, enquanto que a válvula atmosférica (18C’) é comandada para fechar. As válvulas atmosféricas (18D e 18D’) permanecem fechadas.

[048] Quando o veículo (1A) estiver aproximando-se da estação (9B) e entrando na fase de desaceleração, automaticamente a válvula atmosférica (18B’) começa, isoladamente, ou em combinação com a válvula atmosférica (18A), a regulação do processo de frenagem pneumática, segundo os parâmetros de desempenho pré-estabelecidos.

As válvulas de controle de fluxo (23A e 23C ou 23B e 23D) do grupo motopropulsor (10B) podem, alternativamente, com o mesmo resultado final, serem usadas aos pares com o objetivo de emular o efeito da válvula atmosférica (18B'), substituindo-a com a vantagem de descarregar o fluxo de ar no interior acusticamente isolado da sala de máquinas.

[049] Uma vez que o veículo (1A) esteja parado na estação (9B), a válvula de isolamento de trecho (17B) é imediatamente comandada para fechamento e travamento. Antes de partir em direção à próxima estação (9C) o veículo (1C) precisa ter chegado na estação (9D), enquanto que as válvulas de isolamento de trecho (17B'', 17C) e a válvula atmosférica (18C') são comandadas para abrir e a válvula atmosférica (18C) e a válvula de isolamento de trecho (17C') são comandadas para fechar. Permanece aberta a válvula de isolamento de trecho (17B') e fechadas as válvulas atmosféricas (18B e 18B').

[050] O grupo motopropulsor (10B) é ativado no modo pressão através da abertura das válvulas de controle de fluxo (23A e 23B), enquanto que as válvulas de controle de fluxo (23C e 23D) são mantidas fechadas. O fluxo de ar é desviado pelo duto secundário de propulsão (16B), através da abertura da válvula de direcionamento de fluxo (29B) e da manutenção do fechamento da válvula de direcionamento de fluxo (29B').

[051] Uma vez que a placa de propulsão a montante do veículo (1A) tenha ultrapassado com segurança a posição da válvula de isolamento de trecho (17B'), é comandada a abertura da válvula de direcionamento de fluxo (29B'), liberando também a passagem de ar através do duto de conexão (11B). Logo após a confirmação do sistema de controle da abertura bem-sucedida da válvula de direcionamento de fluxo (29B'), procede-se ao fechamento da válvula de direcionamento de

fluxo (29B), cessando o fluxo de ar no duto secundário (16B), dando passagem exclusiva através do duto de conexão (11B), concluindo a transferência da propulsão do duto secundário para o duto de conexão, sem causar interrupção do escoamento de ar no duto de propulsão (15) e, portanto, sem afetar o movimento normal do veículo (1A). Ato contínuo, a válvula de isolamento de trecho (17B') é comanda para fechamento e travamento, encurtando o circuito de propulsão original, assim permanecendo até a chegada do veículo (1A) na estação (9C). Em caso de qualquer indisponibilidade da válvula de direcionamento de fluxo (29B'), o duto secundário de propulsão (16B) pode propelar excepcionalmente o veículo ao longo de todo o trecho até seu destino.

[052] Devido às simplificações propositais no projeto do arranjo de propulsão impostas no cenário da figura 9 por conta da baixa demanda inicial e, a despeito da liberação da zona do duto secundário de propulsão (16B) da estação (9B) quando do fechamento da válvula de isolamento de trecho (17B'), ainda assim não há possibilidade do veículo imediatamente atrás (1Bi) nela adentrar, devido à ausência de grupo motopropulsor na estação (9A), que nesta etapa corresponde a uma das esperas (32A') para expansão futura contemplada nos próximos cenários.

[053] Dentro da mesma lógica sequencial, o veículo (1A) continua seu movimento até o fim da via (6). Quando este veículo alcançar a estação (9E), o processo de manobra para retornar em sentido contrário na via oposta (6i) pode ter início. Para tanto, as válvulas de isolamento de trecho (17E') e válvula atmosférica (18G) são comandadas para abrirem, enquanto que a válvula atmosférica (18E) é comandada para fechar. As válvulas de isolamento de trecho (17D'' e 17E) são mantidas abertas, enquanto que as válvulas de isolamento de trecho (17D' e 17Gd) são mantidas fechadas. O travessão (31Gd) é mantido na posição normal (tangente).

[054] O movimento inicia-se quando o grupo motopropulsor (10D) entrar em regime de pressão insuflando ar através do duto de conexão (11D). O veículo (1A) cessa seu deslocamento quando tiver ultrapassado com segurança as agulhas do aparelho de mudança de via, representadas pelo ponto onde ocorre a intersecção entre o travessão (31Gd) com a via (6). Subsequentemente, as válvulas de isolamento de trecho (17Gd, 17Ei, 17D'i e 17D'i) são comandadas para abrirem, enquanto que as válvulas de isolamento de trecho (17E' e 17Di) são comandadas para fecharem. A válvula atmosférica (18G) permanece aberta, enquanto que a válvula de isolamento de trecho (17Gi) e as válvulas atmosféricas (18Ei, 18D'i e 18Di) permanecem fechadas. O travessão (31Gd) é comandado para a posição reversa (curva). O grupo motopropulsor (10Di), com a válvula de direcionamento de fluxo (29Di) aberta e a válvula de direcionamento de fluxo (29D'i) fechada, dá início ao regime de sucção puxando o veículo para a via (6i) até a estação (9E).

[055] Com o aumento crescente da demanda, as estações que não são originalmente equipadas com grupos motopropulsores passam gradualmente a sê-lo, empregando para isso as provisões deixadas em seus pavimentos técnicos durante as edificações. Sob circunstâncias normais de operação, um dos resultados dessa medida é tornar o regime de propulsão exclusivamente em pressão ou sucção.

[056] Na figura 10 um dos tampões laterais das esperas para acoplamento de equipamentos de propulsão dos grupos (32A', 32C', 32Ei e 32Ci) são removidos para permitir a união dos dutos de conexão (11A, 11C, 11Ei e 11Ci) com o duto de propulsão dos respectivos grupos motopropulsores (10A, 10C, 10Ei e 10Ci) recém acrescentados. Assim, todas as estações passam a ter dois grupos motopropulsores, com exceção das estações terminais (9A e 9E), que recebem apenas uma

unidade cada. Esse arranjo permite dobrar o número de veículos, incorporando os veículos (1B, 1D, 1Ei e 1Ci) e operá-los em modo pressão, exclusivamente, durante situações todas as situações de normalidade.

[057] Além da introdução das válvulas que acompanham os novos grupos motopropulsores, são também adicionadas as válvulas atmosféricas (18B", 18C", 18D", 18D"i, 18C"i, 18B"i) com o propósito de aumentar a capacidade de transporte, uma vez que permitem um veículo partir em sentido normal de uma determinada estação em direção à próxima, sem que essa necessariamente esteja desocupada.

[058] Nessas circunstâncias, o veículo (1A) pode deixar a estação (9A) em direção à estação (9B) com o veículo (1B) ainda nela parado. Para tanto, estabelece-se um circuito de propulsão desde a válvula de isolamento de trecho (17A ou 17A') até a válvula de isolamento de trecho (17B), todas em posição fechada e travada, utilizando a válvula atmosférica (18B") na posição aberta para realizar a exaustão do ar para a atmosfera.

[059] Tão logo a estação (9B) seja liberada através do fechamento da válvula de isolamento de trecho (17B') e avanço do veículo (1B) para um novo bloco de controle em direção à estação (9C), a válvula de isolamento de trecho (17B) e a válvula atmosférica (18B') são comandadas para abrir, enquanto que a válvula atmosférica (18B") é comanda para fechar, mantendo-se fechada a válvula atmosférica (18B), conseqüentemente estendendo com total segurança e conforto o circuito de propulsão do veículo (1A) com este ainda em pleno movimento, permitindo-o alcançar a plataforma de passageiros da estação (9B).

[060] As manobras nos terminais também são favorecidas pela inclusão dos grupos motopropulsores (10A e 10Ei), permitindo, por exemplo, que um veículo estacionado na estação (9E) se desloque até o

fim da via (6) pelo uso do grupo motopropulsor (10D) no modo pressão, retornando por sobre o travessão (31Gd) em posição reversa na direção da via (6i) até a estação (9E) por ação do grupo motopropulsor (10Ei) no modo sucção. Isso ao mesmo tempo que possibilita outro veículo movimentar-se concomitantemente ao longo do trecho compreendido entre a estação (9D) e a estação (9C) por ação do grupo motopropulsor (10Di) na via (6i).

[061] Na figura 11 são acrescentados os assim chamados grupo motopropulsores de manobra (10G e 10Fi), junto às estações terminais (9A e 9E), cuja função precípua é conferir agilidade ao processo de retorno no carrossel nos finais de via (6 e 6i). Esses novos grupos motopropulsores operam associados com as recém equipadas válvulas (18A", 18E', 18E", 18E"'i, 18A'i e 18A"'i). Por conta disso, o arranjo permite incorporar dois novos veículos, (1E e 1Ai).

[062] São acrescentadas ainda as válvulas atmosféricas (18A"', 18B"', 18C"', 18D"', 18E"'i, 18D"'i, 18C"'i e 18B"'i) com o propósito de:

- a) Permitir a operação da linha em sentido normal em modo sucção, quando necessário, sem prejuízo para o desempenho;
- b) Permitir a operação da linha em sentido reverso com o mesmo desempenho que no sentido original de projeto, possibilitando também que um veículo parta de uma determinada estação em direção à próxima, sem que esta esteja desocupada, equiparando a operação degradada à operação normal;
- c) Permitir a operação em marcha por inércia (*coasting*), ativada na fase de cruzeiro, quando o respectivo grupo motopropulsor é colocado em modo de espera, combinado com a abertura da válvula atmosférica a montante e a jusante da posição do veículo em questão, que passa a mover-se por energia cinética tão somente; e

- d) Utilizar a válvula atmosférica a montante para complementar a válvula atmosférica a jusante para contribuir na regulação da frenagem pneumática do veículo.

[063] No cenário “a”, o veículo (1A) parte da estação (9A) em direção à estação (9B), estando esta obrigatoriamente desocupada, pela ação do grupo motopropulsor (10B) em modo sucção através do duto de conexão (11B), estando a válvula de direcionamento de fluxo (29B’) aberta e a válvula de direcionamento de fluxo (29B) fechada. Para tanto, a válvula atmosférica (18A) e as válvulas de isolamento de trecho (17A” e 17B) são comandadas para abrirem, a válvula de isolamento de trecho (17A) e as válvulas atmosféricas (18A’, 18A””, 18B) são comandadas para fecharem, as válvulas de isolamento de trecho (17A’ e 17B’) permanecem abertas e as válvulas atmosféricas (18B”e 18B’) e a válvula de isolamento de trecho (17B”) permanecem fechadas. Quando o veículo (1A) ultrapassar a posição da válvula de isolamento de trecho (17A”), imediatamente a válvula atmosférica (18A””) é comanda para abrir e a válvula de isolamento de trecho (17A”) é comandada para fechar, liberando assim a estação (9A) para ingresso do veículo (1Ai) em manobra de fim de via, da via (6i) para a via (6), através da ação do grupo motopropulsor (10Fi) em modo pressão, ou do grupo motopropulsor (10A) em modo sucção, opcionalmente.

[064] No cenário “b”, o veículo (1B) deixa a estação (9B) em direção à estação (9A), em sentido reverso, com o veículo (1A) ainda nela parado. Para tanto, constitui-se um circuito de propulsão desde a válvula de isolamento de trecho (17B”) até a válvula (17A”), ambas em posição fechada e travada, utilizando a válvula atmosférica (18A””) na posição aberta para realizar a exaustão do ar para a atmosfera. Quando o veículo (1A) desocupar a estação (9A) e com o veículo (1B) em pleno movimento, o circuito de propulsão é, ato contínuo, prolongado até a

válvula de isolamento de trecho (17A) recém-fechada, quando da abertura da válvula atmosférica (18A) e da válvula de isolamento de trecho (17A”) e fechamento da válvula atmosférica (18A”).

[065] As manobras nos terminais também são favorecidas pela adição dos grupos motopropulsores (10G e 10Fi), permitindo, por exemplo, que o veículo (1E) estacionado na via (6) na posição da estação (9E) se desloque em direção ao fim de via pelo uso do grupo motopropulsor (10G) em modo sucção. Ao mesmo tempo que, se necessário para fins de regulação de tráfego, o veículo (1D) pode movimentar-se no circuito de propulsão delimitado entre as válvulas de isolamento de trecho (17D ou 17D’) e (17E), em posição fechada e travada, com a exaustão do ar pela válvula atmosférica (18E’) em posição aberta, pela ação do grupo motopropulsor (10D) em modo pressão. Para tanto, a válvula atmosférica (18E”) e a válvula de isolamento de trecho (17E’) são comandadas para abrir, enquanto que a válvula atmosférica (18E) é comandada para fechar. A válvula atmosférica (18G) e a válvula de isolamento de trecho (17Gd) são mantidas fechadas, compondo um circuito de propulsão delimitado pela válvula de isolamento de trecho (17E) e o tampão de extremidade do duto (30G). O travessão (31Gd) é mantido na posição normal. Quando o veículo (1E) atinge sua posição correta no final de linha, as válvulas de isolamento de trecho (17Gd e 17Ei) e a válvula atmosférica (18E’i) são comandadas para abrirem, enquanto que a válvula de isolamento de trecho (17E’) é comanda para fechar. As válvulas atmosféricas (18G, 18E”)i e 18Ei) e as válvulas de isolamento de trecho (17Gi e 17E”)i permanecem fechadas e o travessão (31Gd) é posto em posição reversa, sendo o veículo (1E) então movido em direção à via (6i) pela ação do grupo motopropulsor (10G) em modo pressão.

[066] Na figura 12 o sistema de propulsão pneumática

recebe os grupos motopropulsores (10B', 10C', 10D', 10E, 10D'i, 10C'i, 10B'i e 10Ai), com vistas a habilitar o modo *push-pull*. Esse acréscimo propicia a operação com veículos maiores, eleva o índice de disponibilidade do sistema por conta da redundância introduzida na propulsão, bem como favorece sua manutenção, por liberar acesso às salas de máquinas que não estiverem em uso no período do dia, durante o qual os custos com pessoal são menores e as condições de trabalho são melhores. Não são incorporadas válvulas extras.

[067] O veículo (1A) acelera da estação (9A) em direção à estação (9B), pela ação conjunta do grupo motopropulsor (10A) no modo pressão e do grupo motopropulsor (10B') em modo sucção. Durante a fase de regime apenas um grupo motopropulsor (10A ou 10B'), continua a propelir o veículo, caso não haja nenhum aclave acentuado nesse trecho. A propulsão *push-pull* pode ser utilizada também nas manobras de troca de via, tanto nos travessões dos terminais, quanto nos travessões intermediários.

[068] Na figura 13 surge o arranjo de propulsão mais completo quando não há subdivisão de trecho, no qual todos os tampões das esperas para acoplamento de equipamentos de propulsão são removidos, para dar lugar às válvulas de isolamento de trecho (17B''', 17C''', 17D''', 17E''', 17D'''i, 17C'''i, 17B'''i e 17A'''i), que embora sejam opcionais, exercem a função acessória de agregar ainda mais redundância operacional ao sistema de transporte pneumático.

[069] Se, por exemplo, o grupo motopropulsor (10B) estiver, por qualquer razão, indisponível para serviço, a propulsão *push-pull* em sentido normal entre a estação (9B) e a estação (9C) poderá ocorrer utilizando os grupos motopropulsores (10B' e 10C'), em um circuito de propulsão delimitado pelas válvulas de isolamento de trecho (17B''' e 17C) em posição fechada.

[070] Na figura 14 é apresentado o arranjo de propulsão típico contendo um trecho intermediário entre estações, baseado na configuração final da figura 13. Trechos intermediários são geralmente criados sempre que a distância entre duas estações for superior a aproximadamente 1.800 metros, ou quando se precisa operar com intervalo entre veículos (*headway*) muito curto para incrementar a capacidade de transporte do sistema de transporte pneumático, ao viabilizar o tráfego simultâneo de múltiplos veículos entre estações, em quantidade total igual ao número de trechos intermediários.

[071] No caso mais comum de dois trechos intermediários, a seção entre duas estações é dividida em três subseções (SUB1, SUB2 e SUB3) na via (6) e nas mesmas três subseções (SUB1i, SUB2i e SUB3i) na via (6'), sendo este último conjunto apenas disposto de forma invertida em relação ao primeiro unicamente em função do movimento do veículo se dar no sentido contrário. A subseção (SUB2) é um circuito de propulsão de transição que está conectado ora à subseção (SUB1), ora à subseção (SUB3), nunca sendo independente, portanto.

[072] No sentido de deslocamento normal, tipicamente a subseção (SUB1) tem um comprimento dois terços daquele da subseção (SUB3), enquanto que a subseção (SUB2) apenas tem a terça parte restante, garantindo um equilíbrio na distribuição dos tempos de viagem entre os trechos intermediários. Assim sendo, quando um veículo parte de uma estação em direção à outra, este idealmente desloca-se dentro do bloco formado pelo conjunto da subseção (SUB1) com a subseção (SUB2), enquanto o veículo à frente movimenta-se exclusivamente na subseção (SUB3). Uma das funções da subseção (SUB2), é acomodar as eventuais variações em relação à programação original de tráfego dos veículos, perturbada por atrasos nas estações e outros fatores externos característicos de sistemas de transporte de massa.

[073] O veículo (1BC) parte da estação (9B) em direção à estação (9C) através da ação simultânea do grupo motopropulsor (10B), em modo pressão e do grupo motopropulsor (10BC), em modo sucção, liberando a estação (9B) para ocupação pelo veículo (1B), para embarque e desembarque de passageiros. O veículo (1BC), na situação exemplificada, é propelido no trecho compreendido somente pela subseção (SUB1), delimitada pelas válvulas de isolamento de trecho (17B' e 17BC') na posição fechada e travada, sempre que o veículo (1BC') ainda estiver dentro do trecho da subseção (SUB2) e trafegando no bloco de controle compreendido pela combinação da subseção (SUB2) com a subseção (SUB3), delimitado pelas válvulas de isolamento de trecho (17BC' e 17C) na posição fechada e travada, sob ação do grupo motopropulsor (10C') em modo sucção.

[074] Quando o veículo (1BC') ultrapassar a posição da válvula de isolamento de trecho (17BC''), desocupando a subseção (SUB2), a válvula atmosférica (18BC''') é comandada imediatamente para abrir e a válvula atmosférica (18BC') e a válvula de isolamento de trecho (17BC'') são comandadas para fecharem, após o qual o veículo (1BC') passa a movimentar-se exclusivamente na subseção (SUB3), liberando a subseção (SUB2) para combinar-se com a subseção (SUB1). Nesse momento, a válvula atmosférica (18BC'') e a válvula de isolamento de trecho (17BC') são comandadas para abrirem para que o veículo (1BC) possa ingressar com segurança na subseção (SUB2), agora sob ação exclusiva do grupo motopropulsor (10B), uma vez que na fase de regime apenas um grupo motopropulsor faz-se preciso.

[075] No caso ideal em que a subseção (SUB2) já estiver desocupada no momento em que o veículo (1BC) partir da estação (9B), este deslocar-se-á diretamente dentro do domínio compreendido entre as subseções (SUB1 e SUB2), ao mesmo tempo que o veículo (1BC') logo à

frente se movimenta dentro da subseção (SUB3).

[076] Na figura 15 são acrescentados os grupos motopropulsores (10BC' e 10BC'i) e respectivas válvulas de isolamento de trecho (17BC'' e 17BC''i), que além da óbvia função de incrementar as redundâncias do sistema, permitem que a subseção (SUB3), a exemplo da subseção (SUB1), tenha à sua disposição a opção da propulsão *push-pull* sempre que necessário, quer seja por imposição da altimetria do terreno, quer seja pela opção de assegurar que a restauração da operação no trecho após uma parada de emergência ocorra sem perda de desempenho. Um benefício secundário diz respeito à operação do veículo no bloco de controle constituído pela combinação da subseção (SUB1) com a subseção (SUB2) se dando com o grupo motopropulsor localizado ao final do circuito de propulsão, evitando deixar o volume do duto de propulsão compreendido pela (SUB2) tornar-se uma câmara de ar morta. Ou seja, nessas circunstâncias, o veículo (1BC) partindo da estação (9B) em direção à estação (9C) pode acelerar pela ação simultânea dos grupos motopropulsores (10B e 10BC'). O grupo motopropulsor (10BC) só seria empregado nesta manobra na eventual indisponibilidade do grupo motopropulsor (10BC').

## REIVINDICAÇÕES

1 - “SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS” que é constituído de veículos (1) dotados de truques, cada um com quatro rodas metálicas (2), tendo um dos eixos conectado a um mastro (3) fixado a uma placa de propulsão (4), sendo que os veículos (1) deslocam-se sobre trilhos (5) assentados nas vias elevadas (6) apoiadas por pilares (7), possuindo no topo das vias elevadas (6) rasgos longitudinais (8) para passagem dos mastros (3) das placas de propulsão (4) ao longo do trajeto, possuindo estações de embarque e desembarque (9) e grupos motopropulsores (10, 10') cujos dutos de conexão (11) se unem à via elevada (6), caracterizado por:

- ser constituído de via elevada (6) dupla onde são instalados dois grupos motopropulsores (10, 10') para operação com propulsão em modo empurra e/ou puxa, um par para cada via elevada (6), para cada sentido de tráfego, sendo os grupos motopropulsores (10, 10') ligados às vias elevadas (6);
- serem os grupos motopropulsores (10, 10', 10') instalados no interior de salas de máquinas (12) localizadas em patamares inferiores ao das plataformas (13) das estações de embarque e desembarque de passageiros (9), 10';
- possuir dutos secundários de propulsão (16) construídos em trechos e em paralelo com os dutos de propulsão (15)sssssA, 29Bmsses, 10'ms;
- possuir um conjunto de válvulas de isolamento de trecho de via (17) posicionadas a montante e a jusante dos dutos de conexão (11) dos grupos motopropulsores (10, 10', 10') nos dutos de propulsão (15) que bloqueiam o fluxo de ar no trecho correspondente das vias (6);
- possuir um conjunto de válvulas atmosféricas (18) que são posicionadas ao lado das válvulas de isolamento dos trechos de via

(17) para admissão ou exaustão do ar no trecho correspondente das vias elevadas (6);

- possuir válvulas de controle de fluxo (23A, 23B, 23c, 23D) montadas entre os dutos de conexão (11) e os ventiladores (22); e
- possuir válvulas de direcionamento de fluxo (29A, 29B) que trabalham em sincronia, alternando-se nas posições totalmente aberta e totalmente fechada entre os ventiladores (22) e a via (6).

**2 - “SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem as válvulas de controle de fluxo (23A, 23B, 223C, 23D) do tipo veneziana com lâminas paralelas ou opostas.

**3 - “SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem as válvulas de controle de fluxo (23) de quatro tipos: válvula de controle de pressão (23A), válvula de controle de segurança de pressão (23B), válvula de controle de sucção (23C) e válvula de controle de segurança de sucção (23D), sendo a válvula de controle de pressão (23A) e válvula de controle de sucção (23C) responsáveis pela admissão de ar na entrada do ventilador (22) do grupo motopropulsor (10) e sendo as válvulas de controle de segurança (23B e 23D) responsáveis pela descarga de ar da saída do ventilador (22) do grupo motopropulsor (10).

**4 - “SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser a admissão e exaustão do ar para dentro da sala de máquinas (12) através de atenuadores acústicos (14).

**5 - “SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA**

**TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS**", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os grupos motopropulsores (10, 10') constituídos por um acionamento motriz (20) de velocidade variável unido através acoplamento elástico a um ventilador industrial (22).

6 - **"SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS"**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os dutos de interligação um conjunto constituído por dois segmentos idênticos, sendo o primeiro segmento (24) instalado na admissão à caixa de entrada (26) do ar e o segundo segmento (25) montado na boca de descarga do ventilador (22), ambos conectados a um pleno (27) que faz a convergência do fluxo de ar em direção ao duto de conexão (11) para escoamento até o duto de propulsão (15) e para um segmento de duto secundário (28) de conexão ao duto secundário de propulsão (16).

7 - **"SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS"**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser a válvula de direcionamento de fluxo (29A) instalada entre o grupo motopropulsor (10) e o duto de propulsão (15) e sendo a válvula (29B) instalada entre o grupo motopropulsor (10) e o duto secundário de propulsão (16).

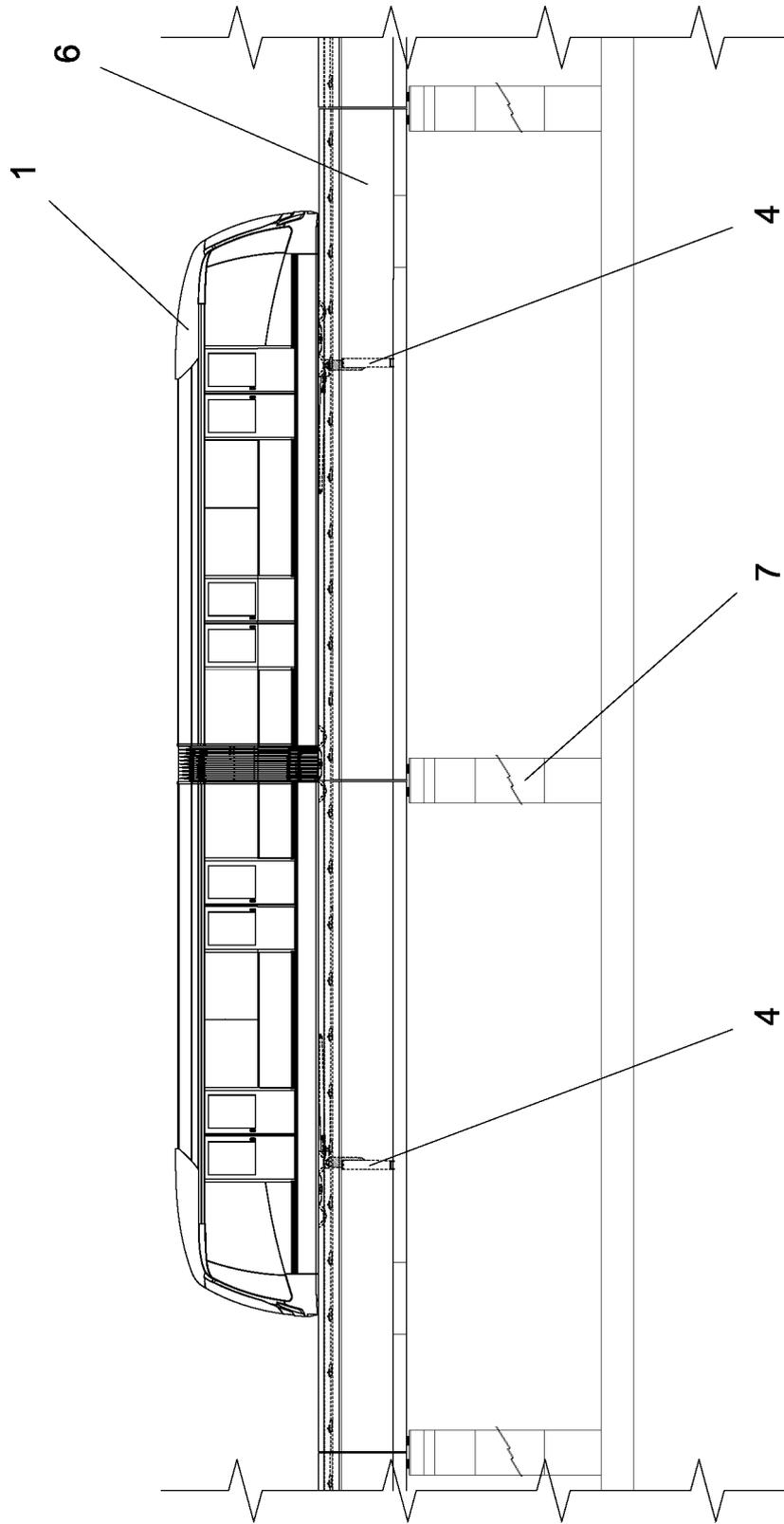


FIG. 1

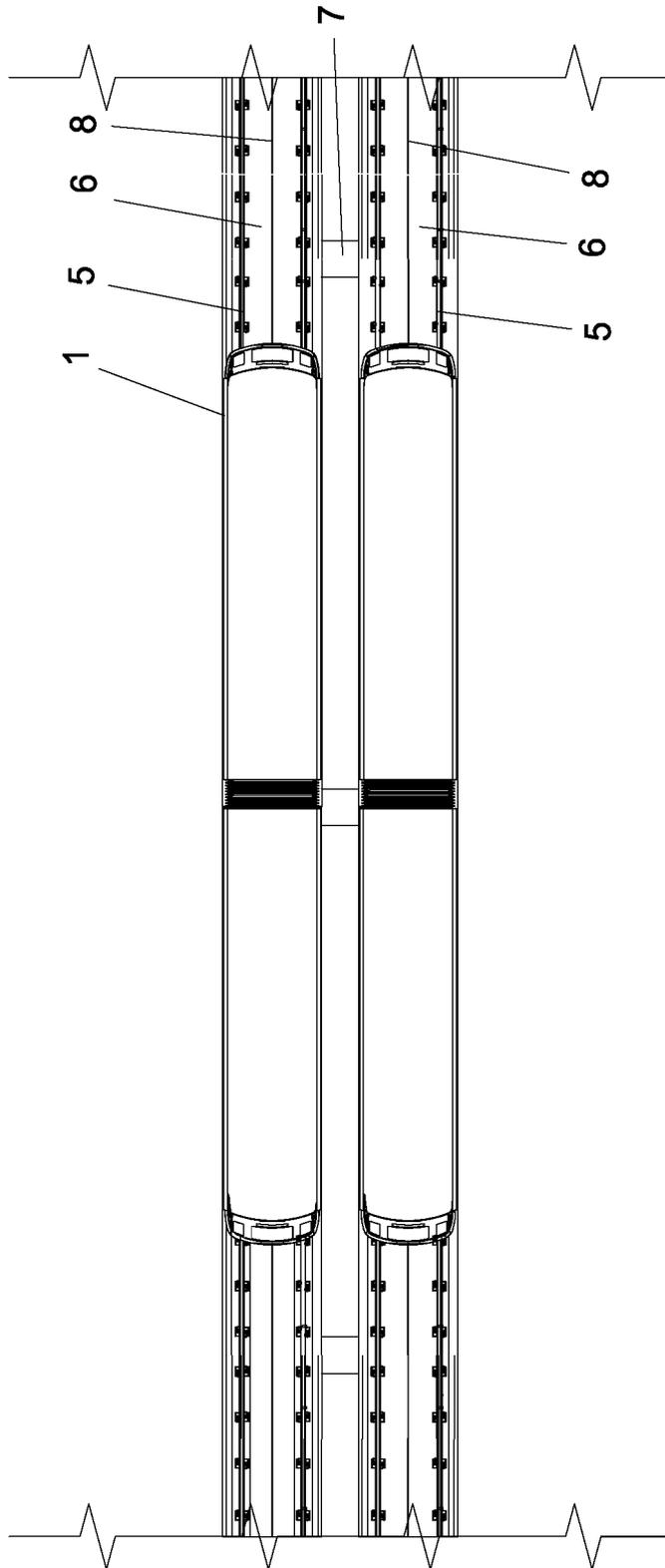


FIG. 2

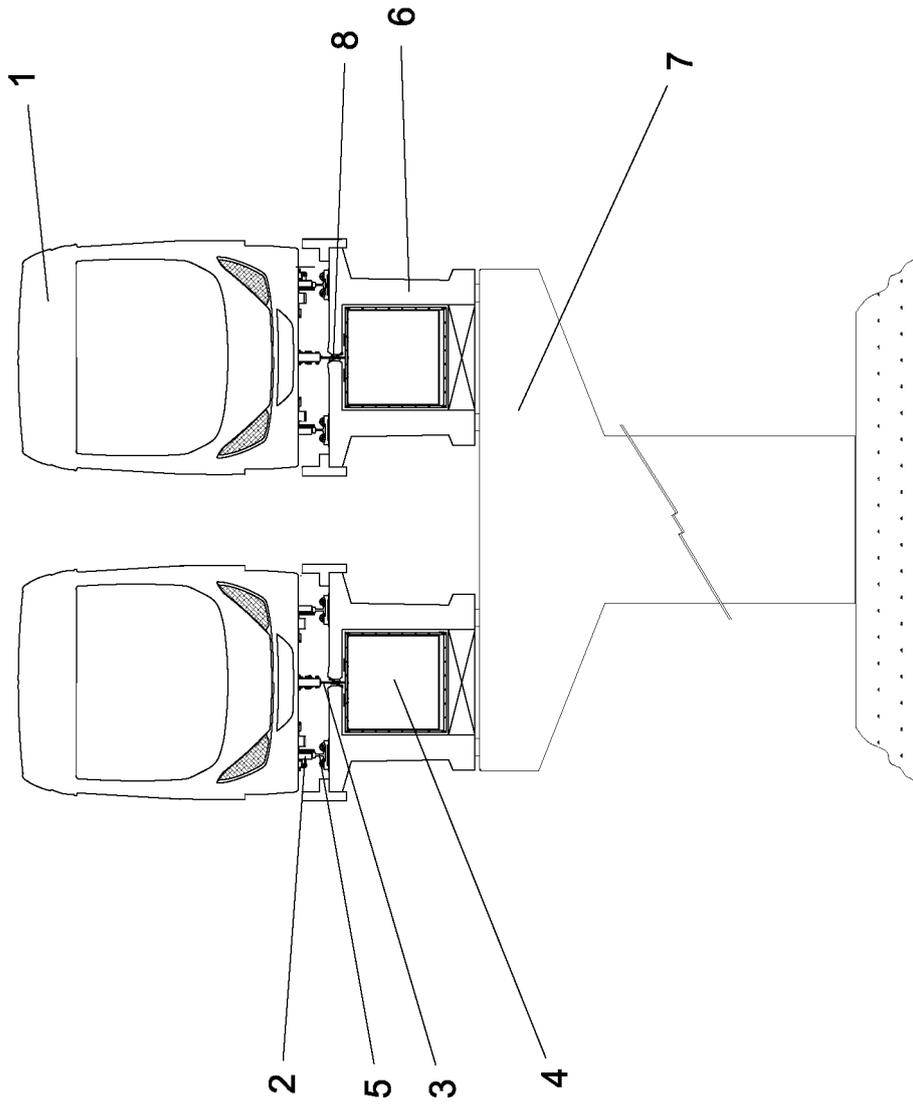


FIG. 3

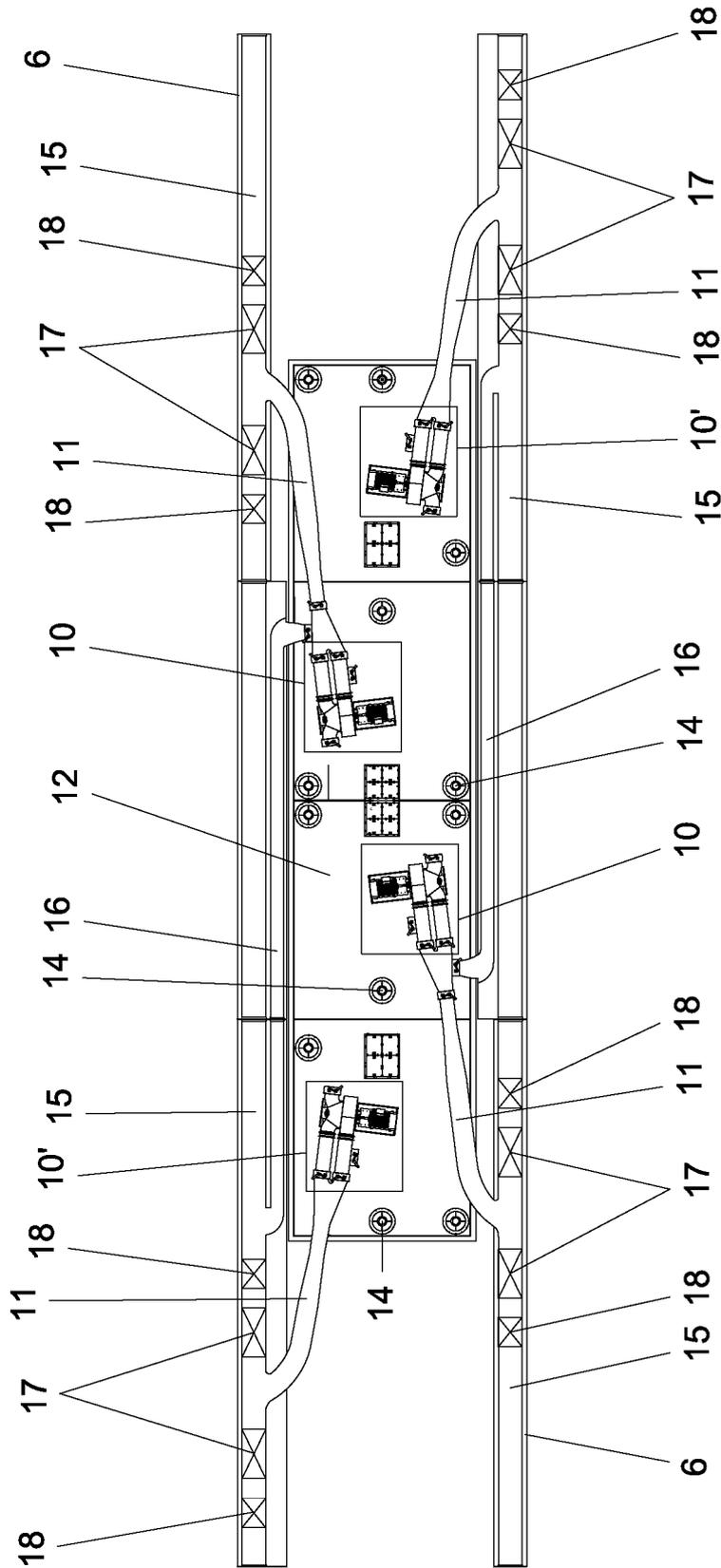


FIG. 4

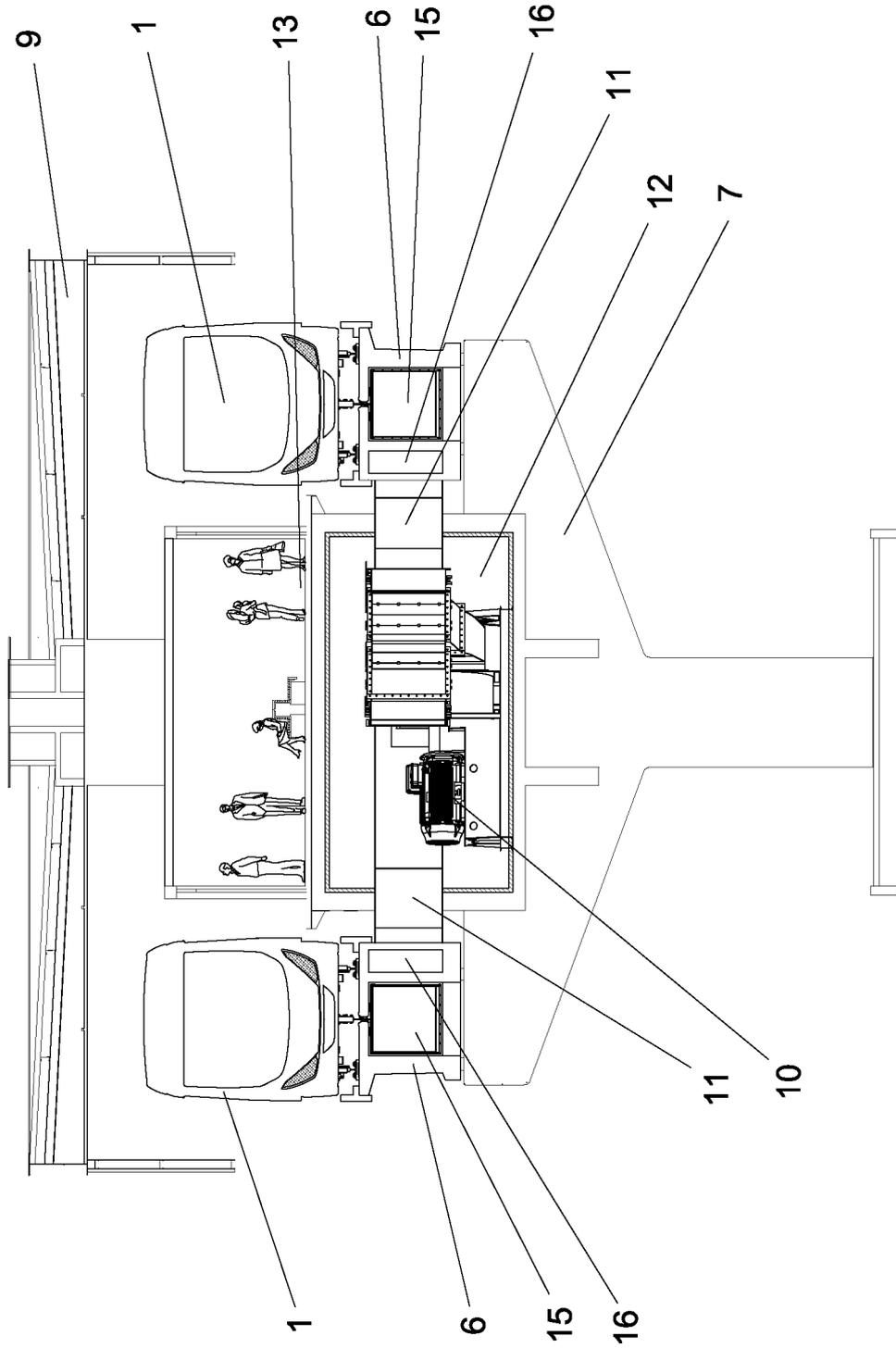


FIG. 5

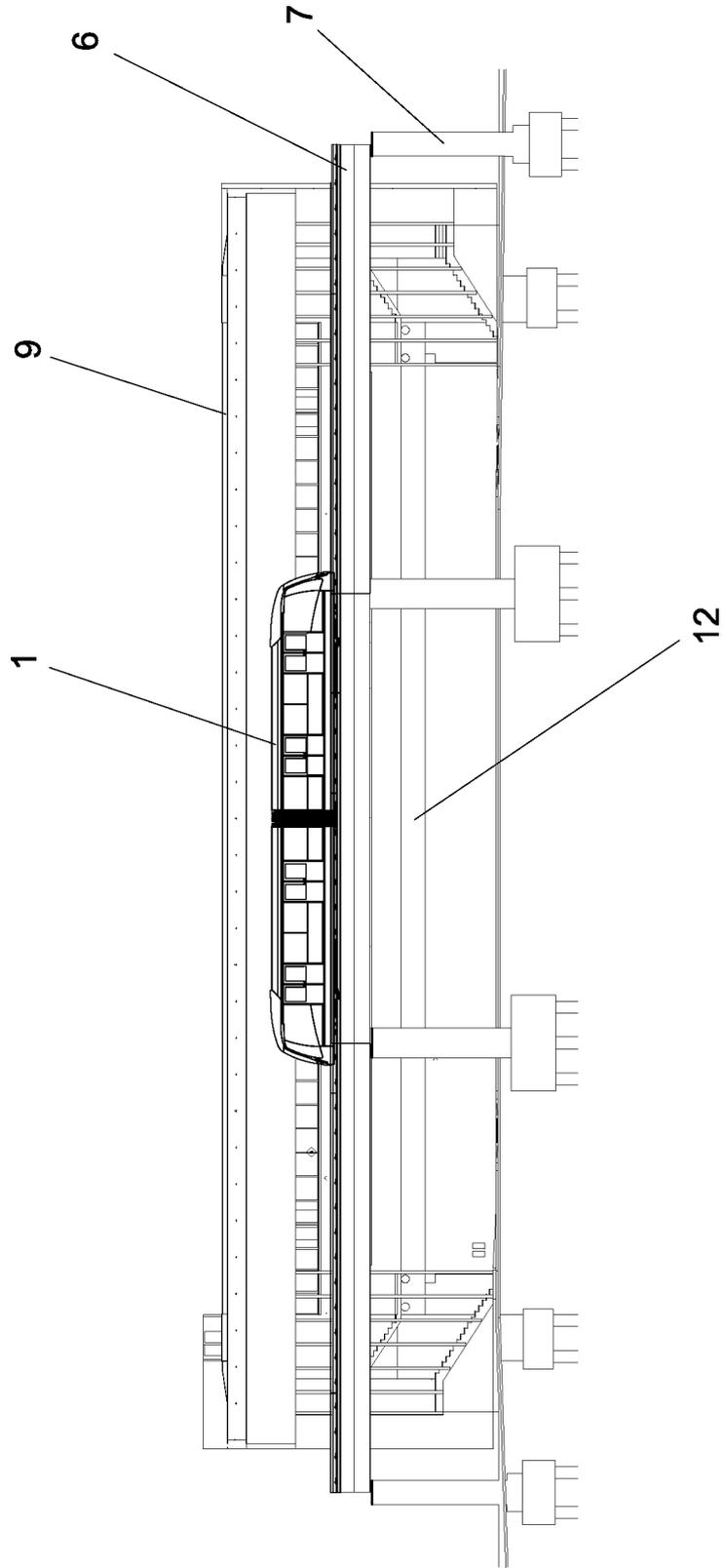


FIG. 6

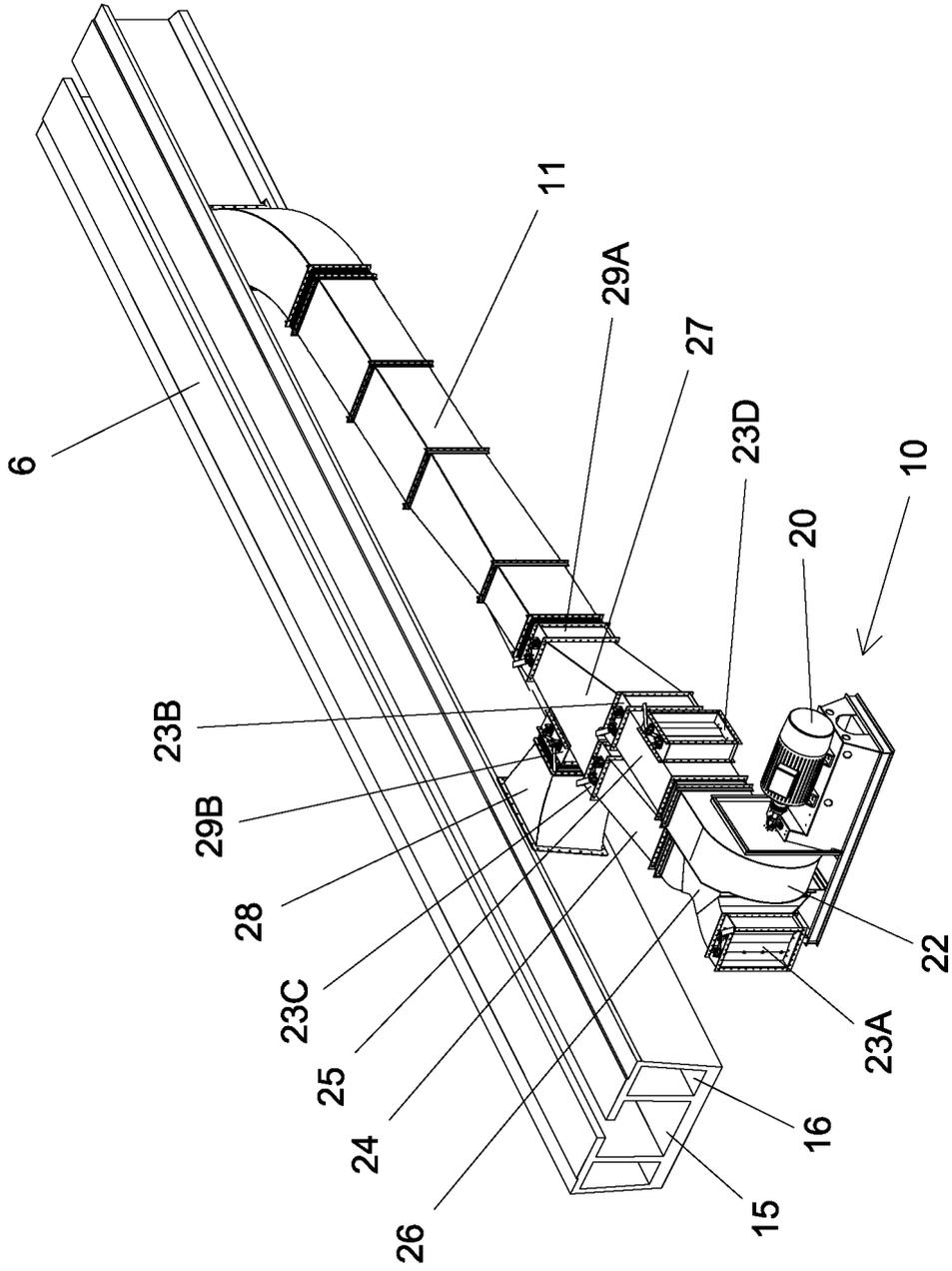


FIG. 7



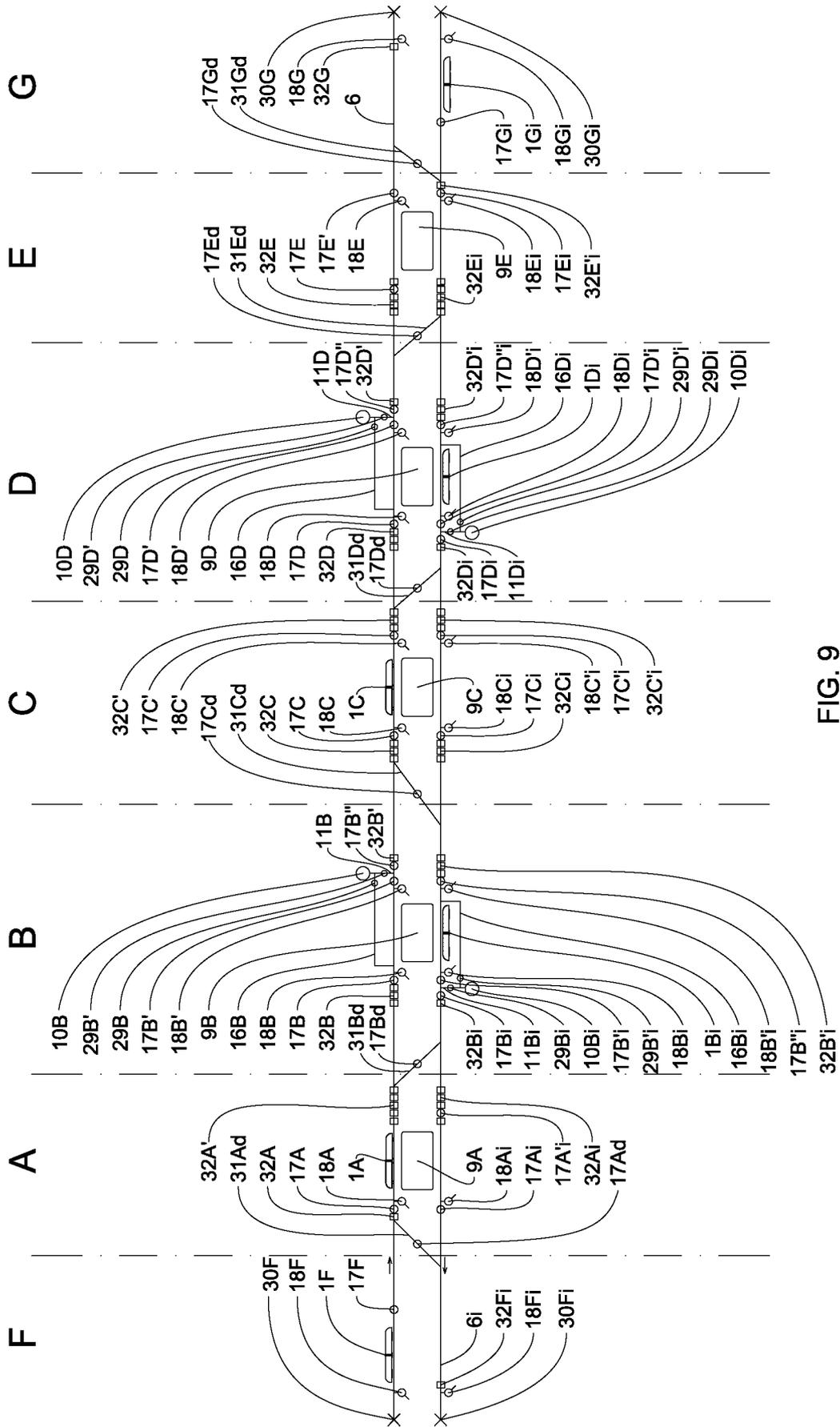


FIG. 9

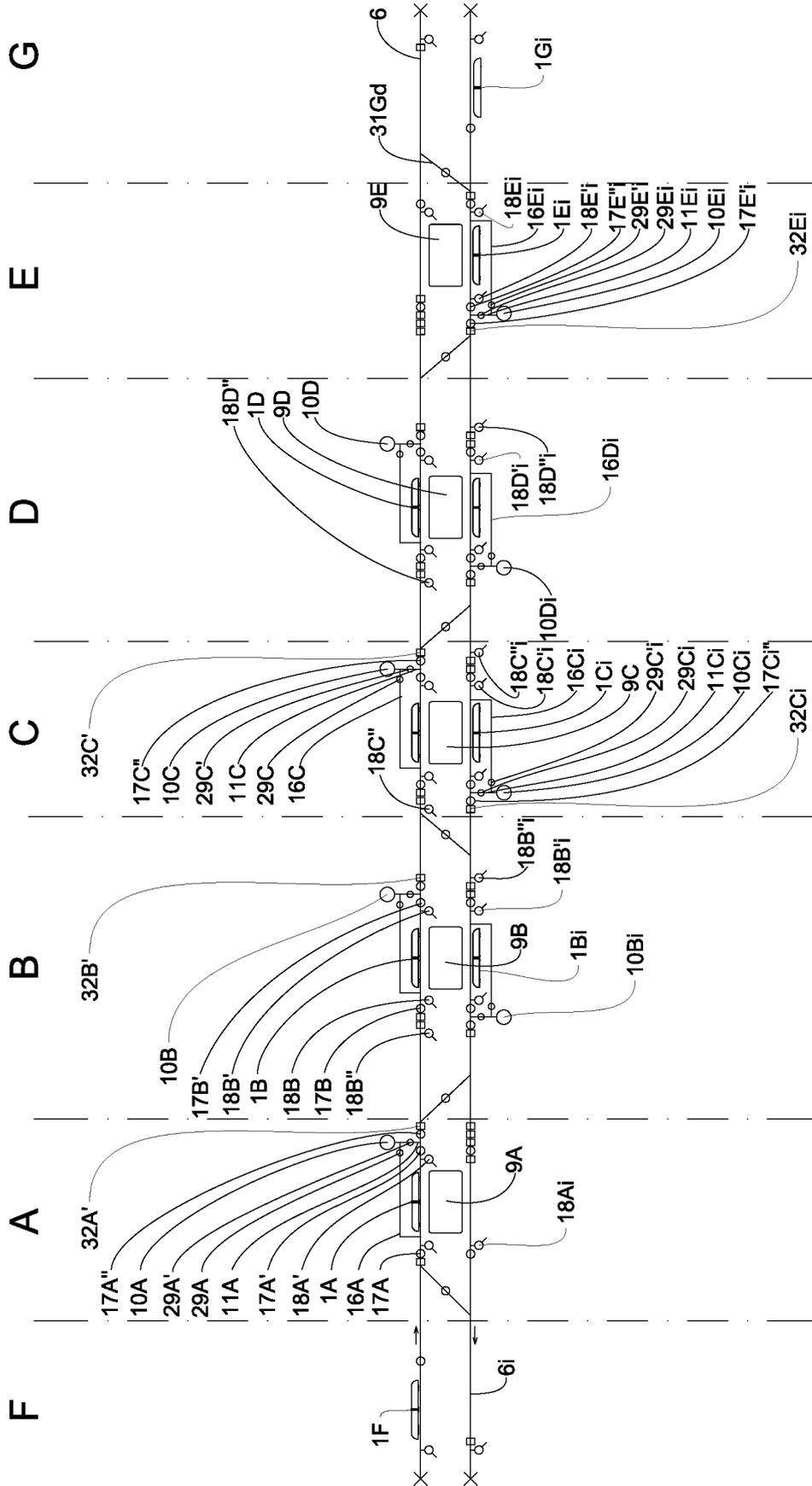


FIG. 10



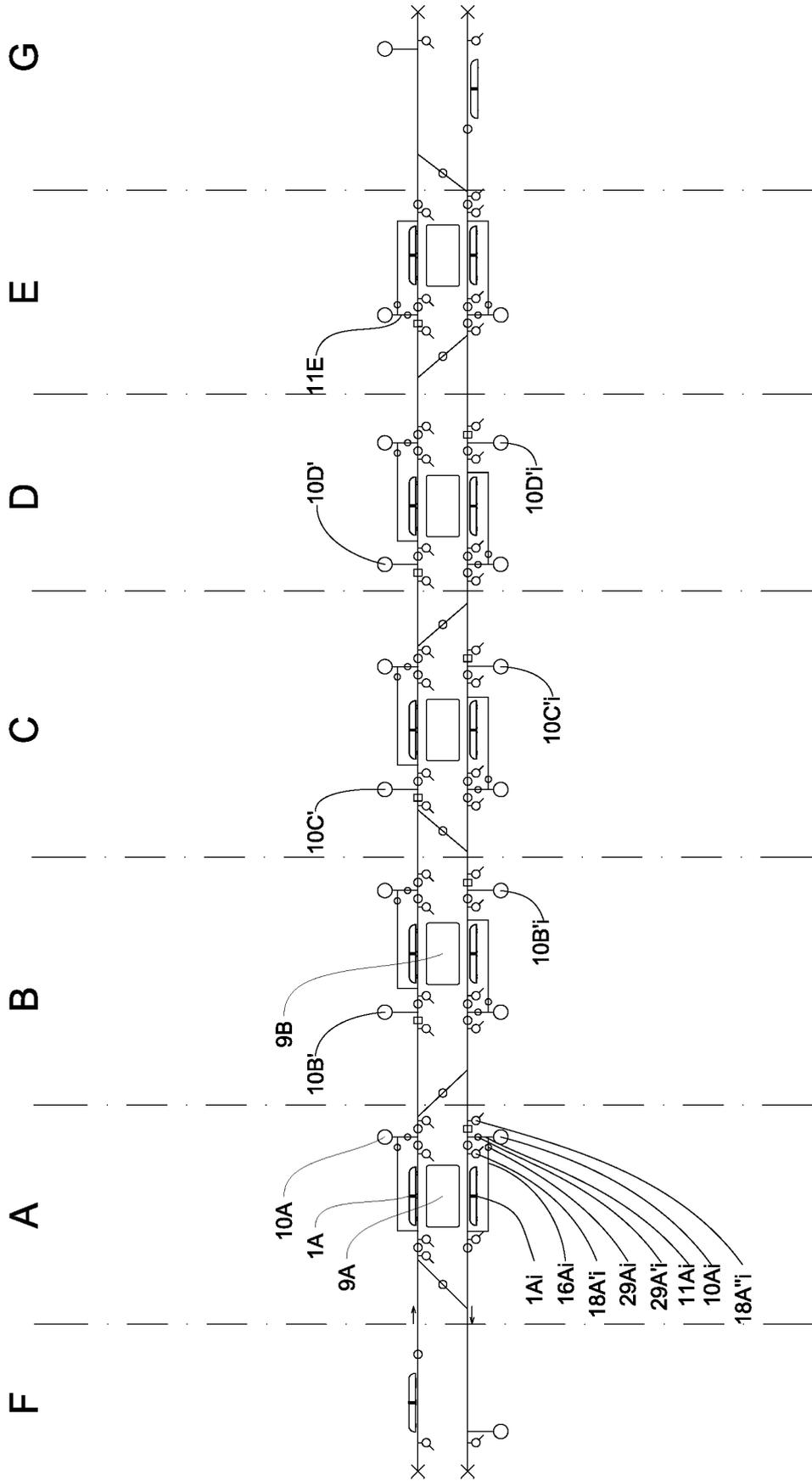


FIG. 12

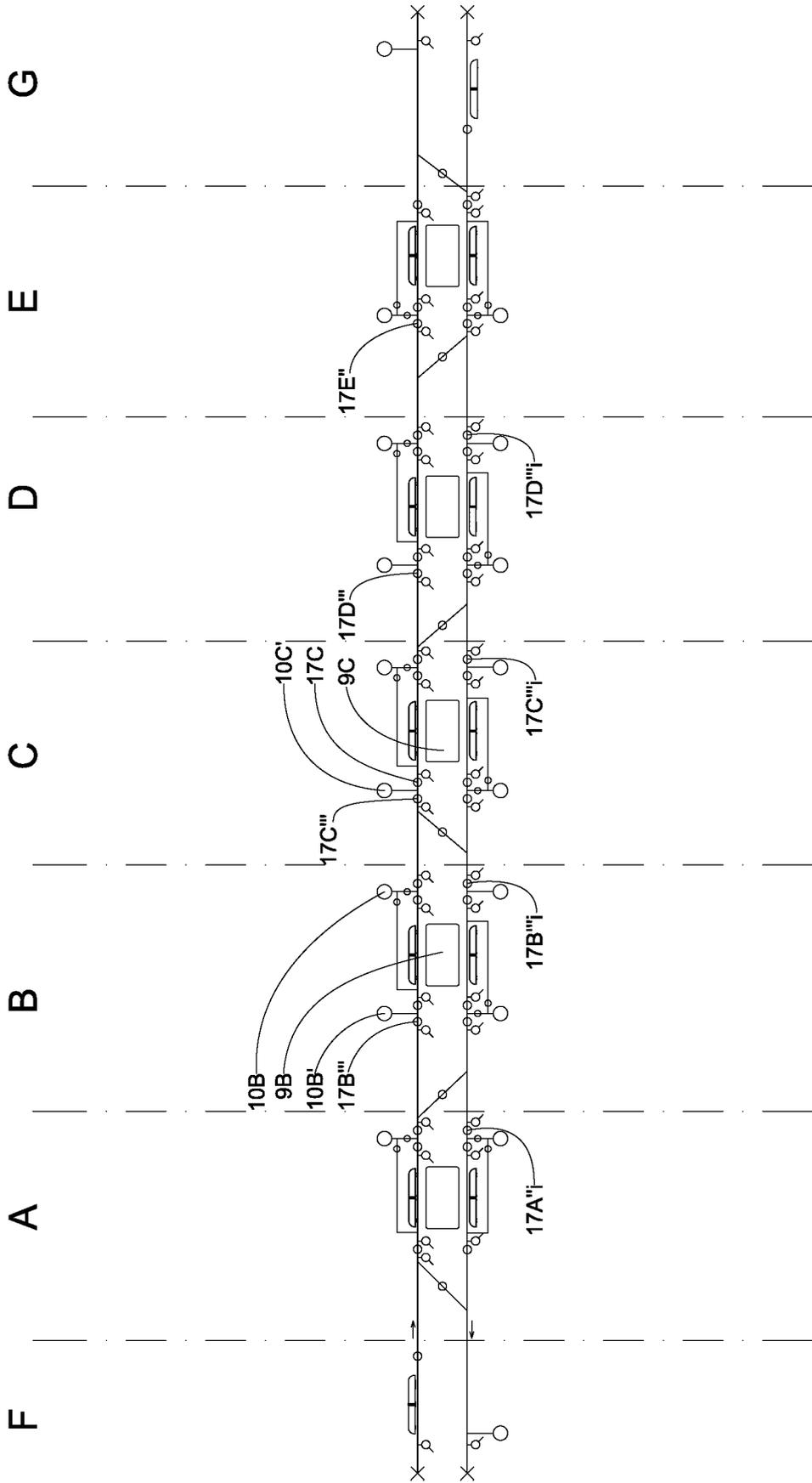


FIG. 13

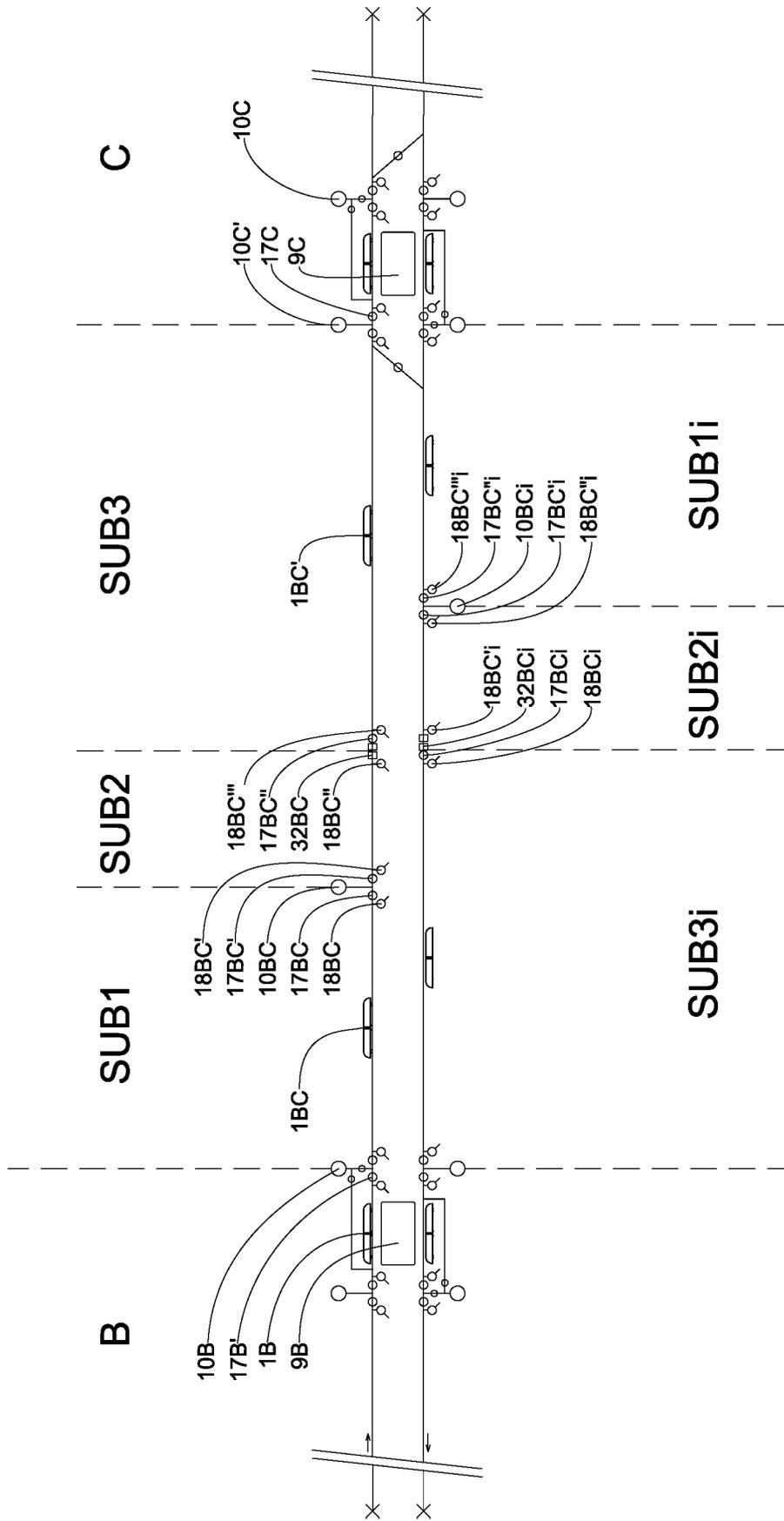


FIG. 14

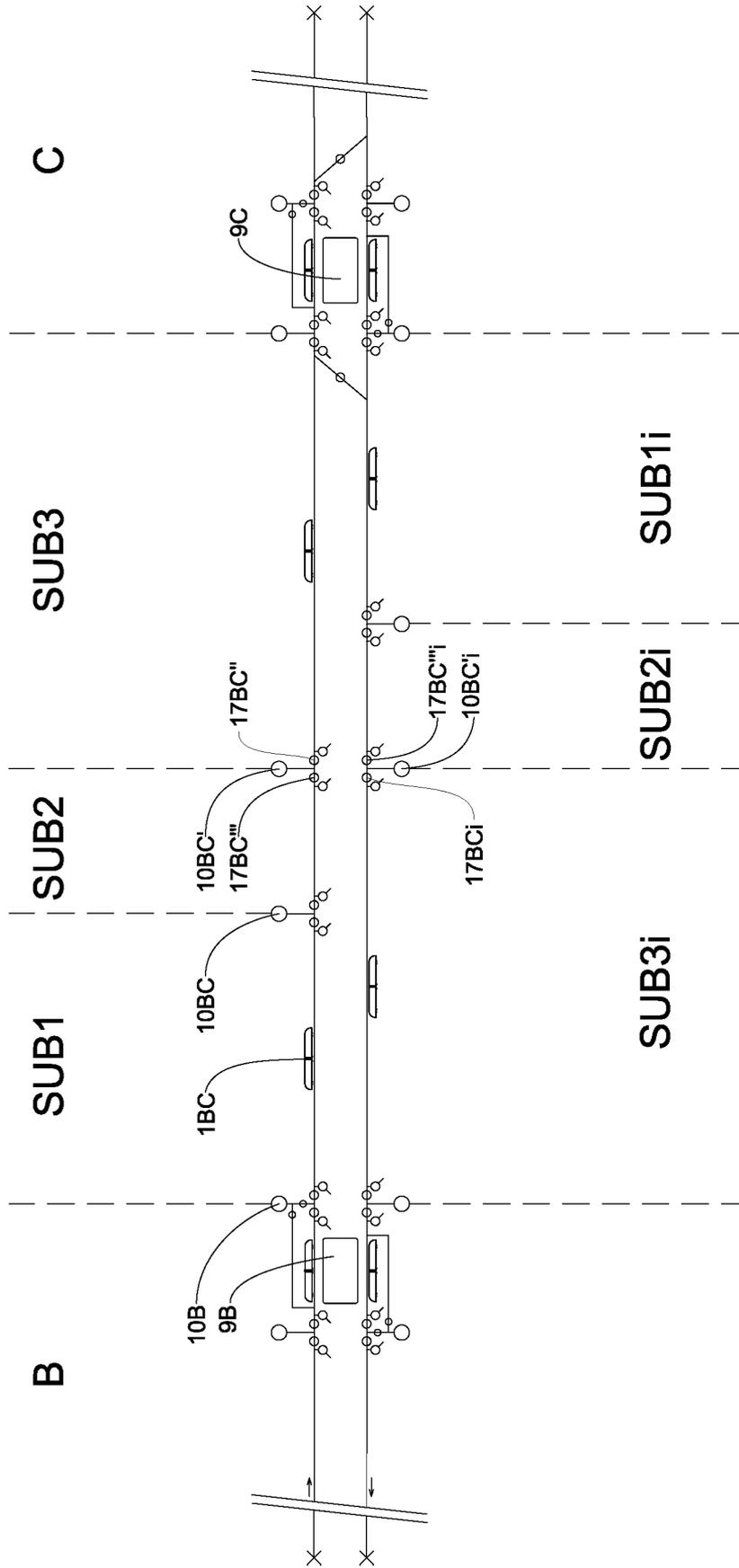


FIG. 15

## RESUMO

### **“SISTEMA DE PROPULSÃO PNEUMÁTICA PARA TRANSPORTE DE ALTA CAPACIDADE DE PASSAGEIROS E/OU CARGAS”**

O sistema de propulsão é constituído por veículos (1) com quatro rodas (2) com um dos eixos conectado a um mastro (3) fixado na placa de propulsão (4). Os veículos (1) deslocam-se em trilhos (5) das vias elevadas (6) apoiadas por pilares (7). O topo das vias elevadas (6) possui rasgos longitudinais (8) para passagem dos mastros (3) das placas de propulsão (4). A via elevada (6) é dupla com dois grupos motopropulsores (10) para operação com propulsão em modo empurra e/ou puxa, um para cada via elevada (6). Os grupos motopropulsores (10, 10') são instalados no interior de salas de máquinas (12) sob o pavimento das estações de passageiros (9) apoiadas sobre pilares (7). Os grupos motopropulsores (10, 10') são ligados às vias elevadas (6) através de dutos de conexão (11). Dutos secundários de propulsão (16) são dispostos em paralelo com o duto de propulsão (15) e associado à sua respectiva válvula de direcionamento de fluxo (29A, 29B) que permite que o fluxo de ar gerado pelo grupo motopropulsor (10) seja descarregado no duto de propulsão (15) em duas posições distintas. Completa o arranjo de propulsão pneumática conjuntos de válvulas de isolamento de trecho de via (17), conjunto de válvulas atmosféricas (18), conjunto de quatro válvulas de controle de fluxo (23A, 23B, 23C, 23D) montadas nos dutos de conexão (11) dos grupos motopropulsores (10, 10') e válvulas de direcionamento de fluxo (29A, 29B).