

## 6 Implementação do Procedimento

O modelo de veículo plano apresentado no Capítulo 5 implementado por meio de diagrama de blocos em linguagem MATLAB/SIMULINK® é composto por cinco módulos intercambiáveis, o do chassi, os das suspensões direita e esquerda e dos pneus direito e esquerdo, como mostra a Figura 75. Em cada bloco o número entre parênteses é a dimensão do sinal de entrada vetorial. Quando a entrada é um escalar não há número.

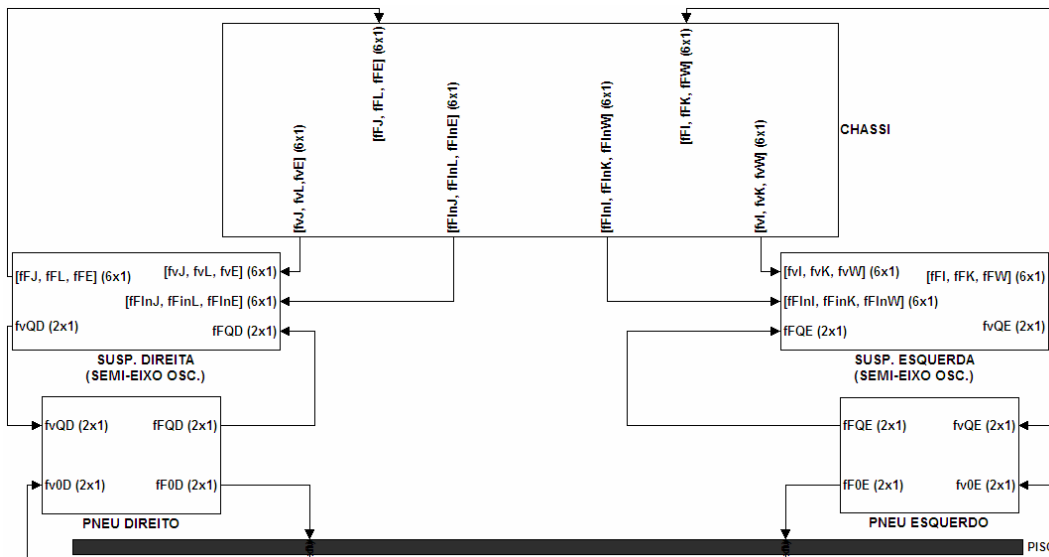


Figura 75 – Modelo implementado em diagrama de blocos usando MATLAB/SIMULINK®.

As saídas do bloco do chassi são suas velocidades dos pontos de ancoragem, as entradas são as forças produzidas pelas suspensões. Estas recebem esforços dos pneus e as velocidades dos respectivos pontos de ancoragem, e devolvem esforços para o chassi e velocidades para os pneus. Por sua vez, os pneus recebem velocidades da roda e da excitação de base e respondem com esforços. A seguir é feita a descrição de cada um dos módulos, a começar pelos comuns, o chassi e os pneus. A suspensão semi-eixo oscilante e a braços sobrepostos são vistas em separado.

## 6.1. Chassi e Pneu

Monta-se o diagrama de blocos do chassi respeitando-se a forma da estrutura de junção do módulo. A Figura 76 mostra o diagrama de blocos do chassi, o primeiro nível deste módulo, suas entradas e saídas. Considera-se que o veículo está de frente para o observador. Assim, a entrada (fFJ, fFL e fFE) e as duas saídas (velocidades dos pontos de ancoragem fvJ, fvL, fvE e falsas fontes de esforços fFInJ, fFInL, fFInE) do lado esquerdo do bloco são direcionadas para a suspensão direita, e vice-versa.

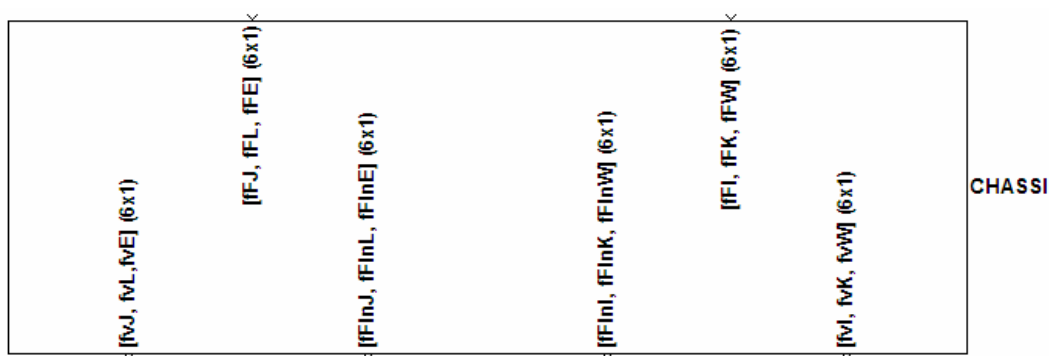


Figura 76 – Primeiro nível do bloco do chassi.

Dentro no bloco do chassi, o segundo nível é subdividido em quatro colunas. Encontram-se, da esquerda para a direita na Figura 77, na primeira coluna os blocos das fontes de esforço, arrumados segundo a categoria – acima os esforços provenientes das suspensões e abaixo a força peso e um torque externo aplicado; na segunda coluna um bloco contendo a estrutura de junção; na terceira coluna o bloco das equações de Newton-Euler do chassi. Finalmente, na quarta coluna um bloco cuja finalidade é explicada mais adiante, na parte reservada às suspensões.

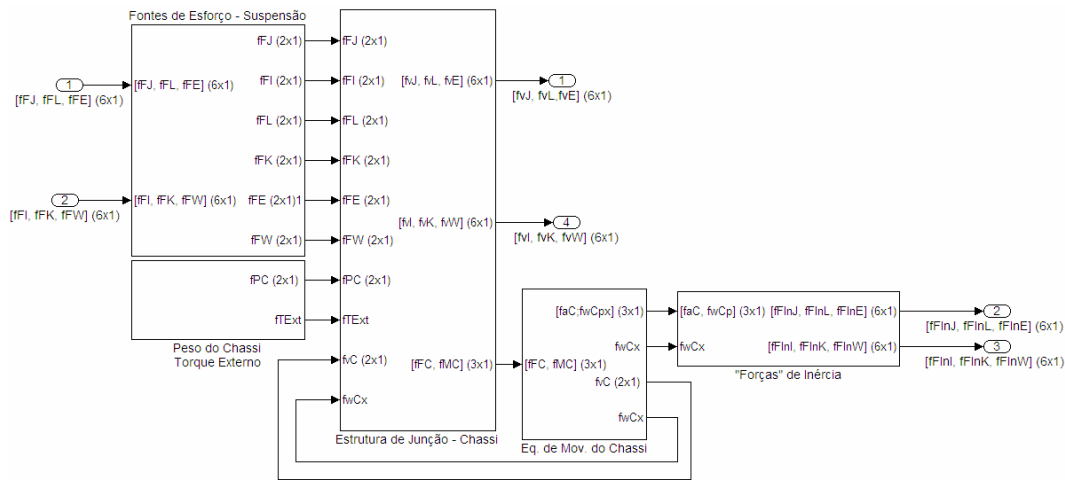


Figura 77 – Segundo nível do bloco do chassi.

Dentro do bloco *Estrutura de Junção – Chassi*, configurando assim um terceiro nível, mostrado na Figura 78, há a rotina para seu cálculo, contendo a eq. (5.2). Os blocos que o antecedem e o sucedem servem para organizar os sinais de entrada e de saída, respectivamente, apenas para evitar linhas cruzando entre os blocos (o que dificulta a visualização), e assim caracterizar a forma da matriz da Equação (3.6). Não há neles qualquer rotina MATLAB®. Assim, neste nível, a primeira coluna de blocos organiza as fontes de esforço e os fluxos provenientes do campo-I elemento causal, o único campo armazenador do chassi, em dois vetores. Na segunda coluna está o bloco com a rotina da estrutura de junção. Dispostos na terceira coluna estão os blocos que promovem a desmultiplexação dos sinais de saída, apenas para caracterizar e deixar bem claro quem são as variáveis de saída correspondentes às de entrada. Também nesses blocos não há rotina MATLAB® ou qualquer operação. Na quarta coluna estão os blocos que organizam os sinais de saída, o de cima separando os correspondentes à suspensão direita dos correspondentes à suspensão esquerda, e o de baixo multiplexando os sinais em um único vetor. O objetivo é também deixar o diagrama de blocos mais limpo e organizado possível, evitando cruzamento de ligações, e aproximando-se tanto quanto possível da forma do equacionamento.

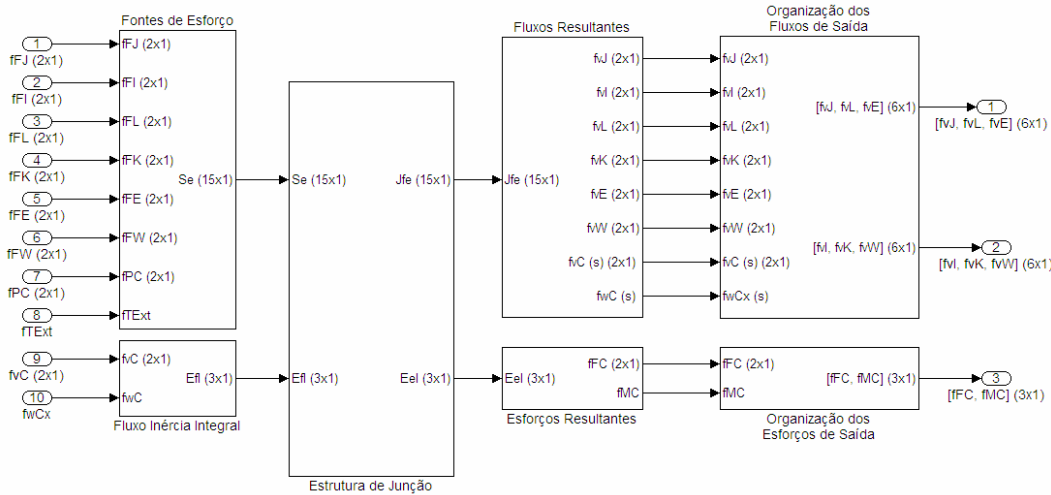


Figura 78 – Terceiro nível do diagrama de blocos do chassi.

O mesmo padrão é estendido ao módulo do pneu, mostrado na Figura 79. As entradas são as velocidades provenientes do ponto Q e da excitação de base ( $fVQD/E$  e  $fV0D/E$ , respectivamente), e os módulos respondem com os esforços associados aos elementos armazenador e capacitivo junção causal e correspondentes às entradas ( $fFQD/E$  e  $fF0D/E$ , respectivamente), respeitando a conservação de potência. Os blocos diferem apenas no nome das variáveis, sendo em tudo iguais, forma e conteúdo.

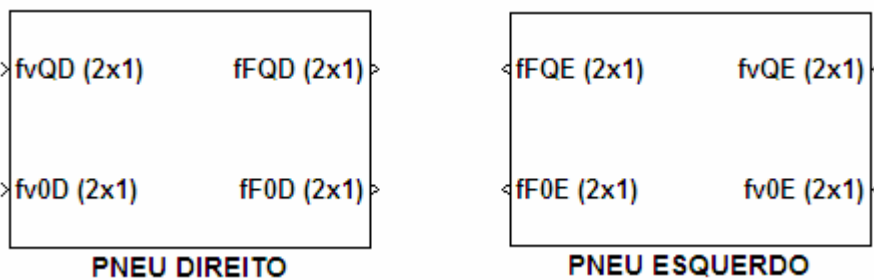


Figura 79 – Primeiro nível dos blocos dos pneus.

Dentro de cada bloco está a estrutura de junção (Figura 80). Assim como no caso do chassi, o bloco da primeira coluna promove a desmultiplexação de seu sinal de entrada. Na segunda coluna estão os blocos de fontes de fluxos e de esforços, dispostos na mesma ordem do vetor de entradas da estrutura de junção. Na terceira coluna está o bloco com a estrutura de junção, enquanto que na quarta coluna estão os blocos de esforços associados aos fluxos de entrada, o de cima, e o

de fluxos associados aos esforços produzidos pelos elementos complacentes. Na última coluna fica o bloco dos elementos, onde os esforços produzidos pelos campos-**C** e **R** junção causal são calculados.

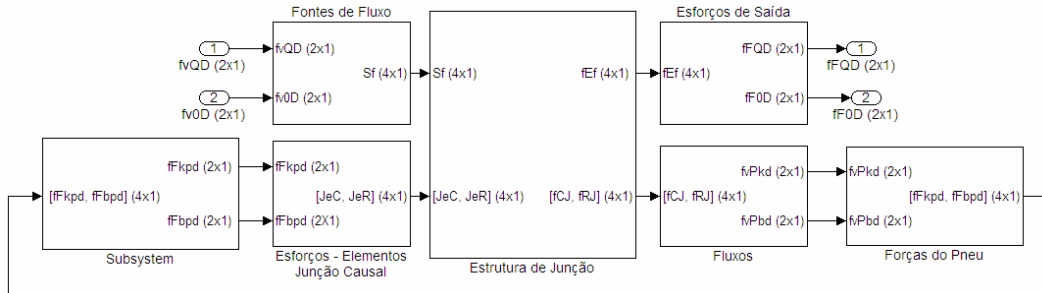


Figura 80 – Segundo nível do diagrama de blocos do pneu.

## 6.2. Suspensão Semi-Eixo Oscilante

O diagrama de blocos da suspensão segue o mesmo conceito adotado nos demais. O primeiro nível das suspensões, direita e esquerda, está representado na Figura 81 com suas respectivas variáveis de entrada e de saída. As “falsas fontes de esforço” são fFinJ, fFinL, fFinE, para a suspensão direita, e fFinI, fFinK, fFinW para a suspensão esquerda. Tem-se o segundo nível mostrado na Figura 82.

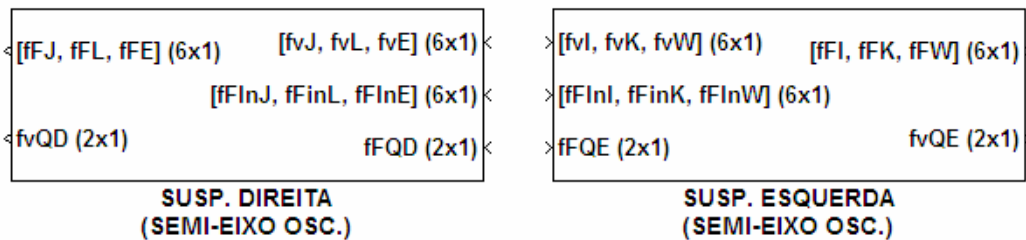


Figura 81 – Primeiro nível do diagrama de blocos das suspensões.

A primeira coluna de blocos é a de entradas, respectivamente da falsa força de inércia, dos fluxos provenientes do chassi, do peso da roda, da força aplicada no ponto **Q**, dos esforços dos elementos de inércia junção causal, e dos esforços dos elementos complacentes. Por questão de organização do bloco, neste nível as estradas e saídas não seguem a mesma ordem da estrutura de junção.

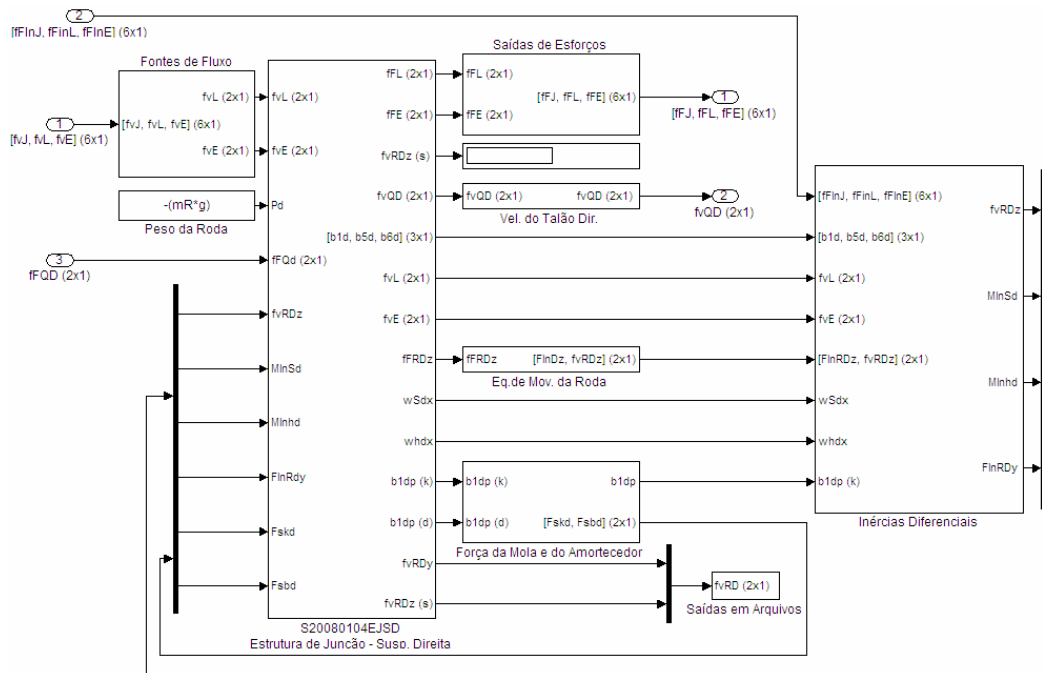


Figura 82 – Segundo nível do diagrama de blocos da suspensão semi-eixo oscilante.

Na segunda coluna está o bloco com a rotina da estrutura de junção. Na terceira coluna são dispostos os blocos que representam, de cima para baixo, os esforços correspondentes aos fluxos de entrada, o fluxo correspondente à fonte de esforço Peso, o esforço resultante que segue para a inércia elemento causal (grau de liberdade do mecanismo), os fluxos correspondentes aos esforços produzidos pelos elementos complacentes e a saída em arquivo da velocidade absoluta do ponto **R**.

Na quarta coluna está o bloco onde são feitos os cálculos dos esforços provenientes das inércias diferenciais. Suas entradas são os fluxos correspondentes às inércias junção causal (coluna telescópica, semi-eixo e translação lateral da roda), e os esforços provenientes das falsas fontes de esforços mencionadas anteriormente, que “transportam” as acelerações dos pontos de ancoragem para o bloco. Dentro do mesmo módulo, variáveis que não são de potência podem sair de um bloco a outro, como é o caso das variáveis internas próprias do mecanismo, que são o comprimento da mola,  $\beta_1$ , e os ângulos de orientação do semi-eixo,  $\beta_5$ , e da coluna telescópica,  $\beta_6$ . Estes ângulos servem para calcular as matrizes de transformação de coordenadas. Assim, não é preciso

integrar as velocidades angulares sempre que os deslocamentos a elas associados é necessário.

O terceiro nível é o da estrutura de junção do mecanismo, assim caracterizado, conforme mostra a Figura 83. Os blocos de entrada e de saída da estrutura representam os vetores, agrupados conforme a ordem da estrutura de junção. Somente o bloco central tem uma rotina MATLAB® (Figura 84), os demais apenas organizam as variáveis. A rotina F20080104ESJD contém a eq. (5.6).

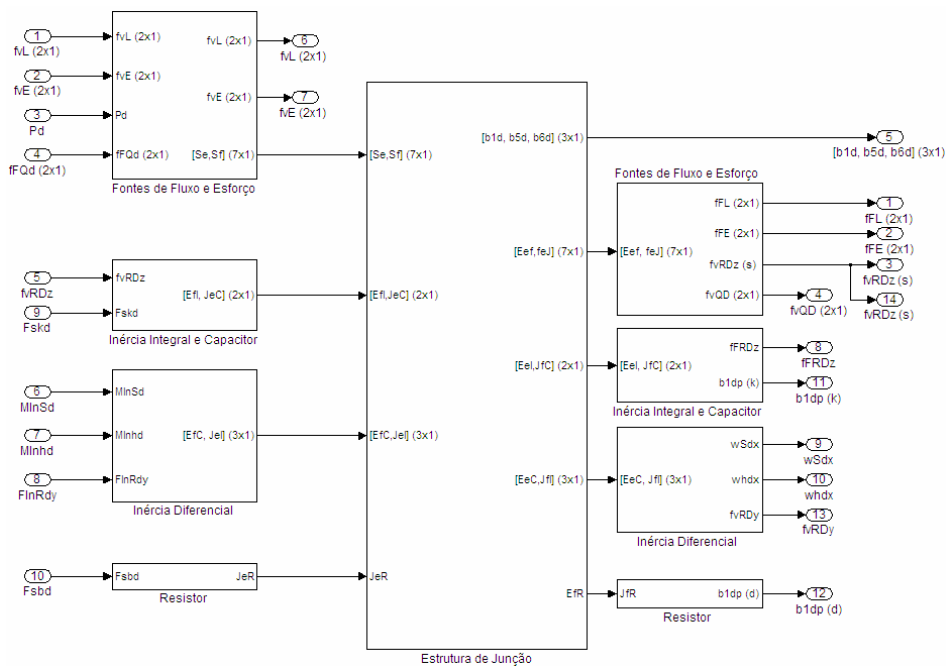


Figura 83 – Estrutura de junção do mecanismo.

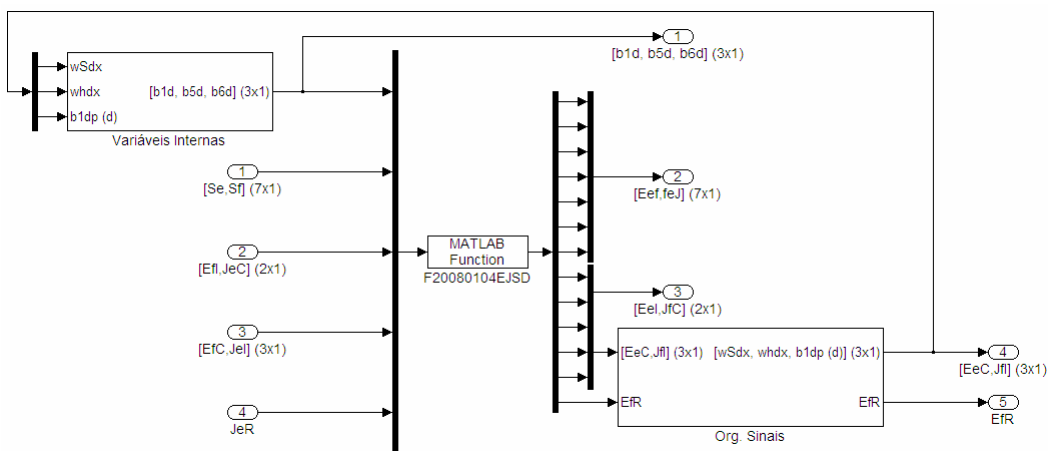


Figura 84 – Interior da estrutura de junção.

Em alguns casos, uma ou mais variáveis entram e saem dos blocos sem produzir nenhum efeito. Isto é feito apenas para organizar o diagrama, já que o número correspondente a um ícone de entrada ou de saída define sua ordem no nível anterior.

### 6.3. Suspensão Braços Sobrepostos

Também neste caso o diagrama de blocos da suspensão segue o mesmo conceito adotado nos casos anteriores, o de reproduzir a forma da estrutura de junção. A Figura 85 mostra o segundo nível, uma vez que não há diferença do caso anterior. Na segunda coluna está o bloco da estrutura de junção, mostrado em detalhe na Figura 86.

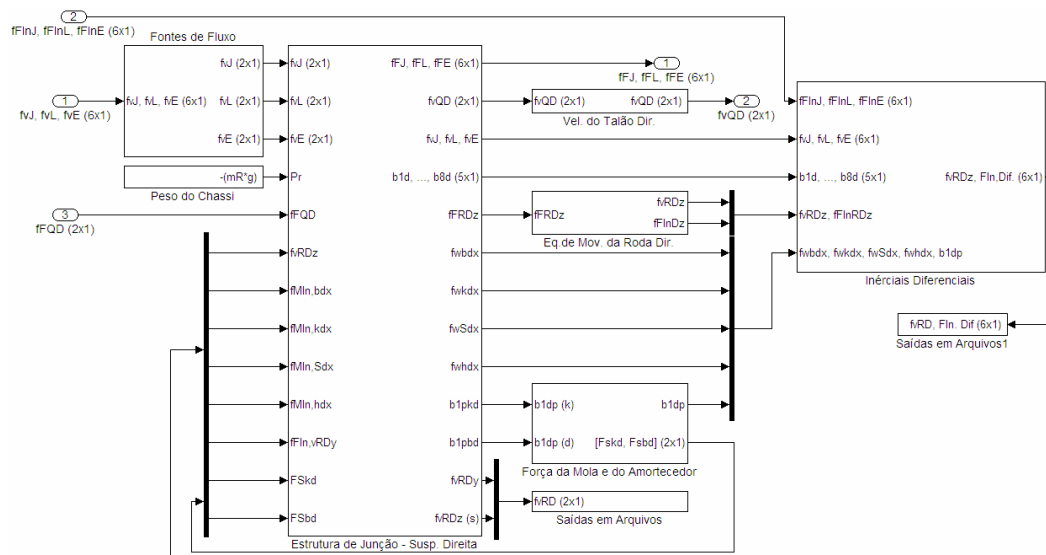


Figura 85 – Diagrama de blocos da suspensão baços sobrepostos.

Na primeira coluna (Figura 85) estão os blocos de entrada, as fontes de fluxo e as fontes de esforço, do peso do mecanismo e da roda, e da força produzida pelo pneu. Os blocos que a sucedem são os elementos da estrutura, e destes, os que não possuem saídas são os de arquivamento de variáveis para posterior uso em gráficos.



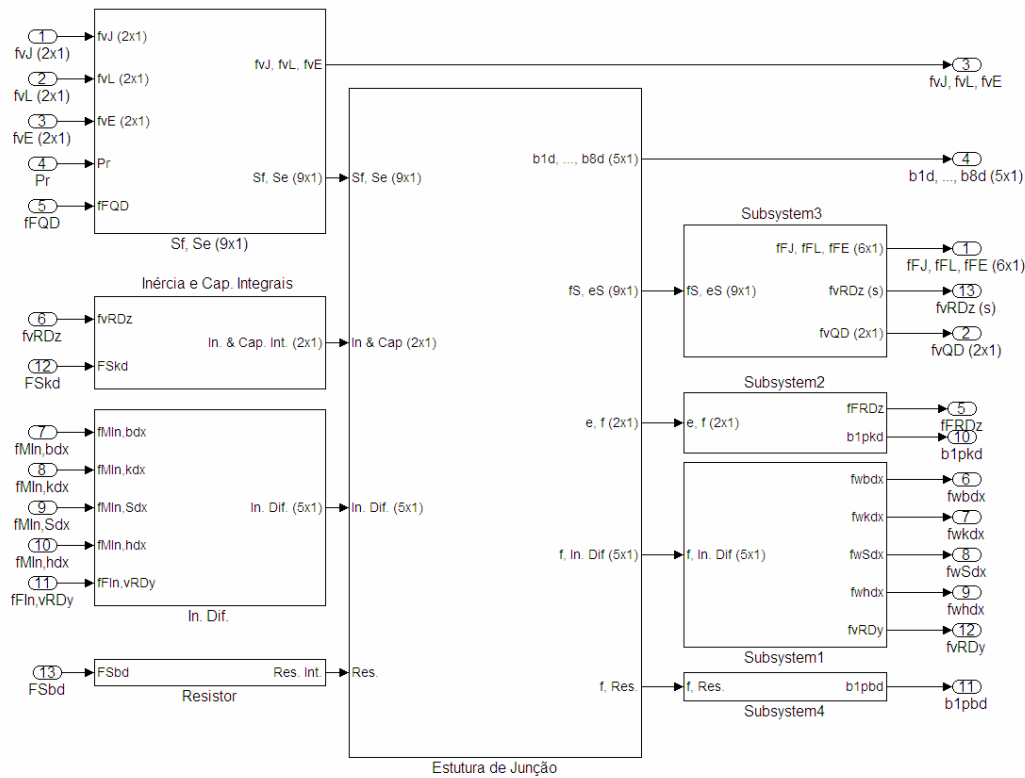


Figura 86 – Diagrama de blocos da estrutura de junção.

Esta montagem modular, apresentada nos casos descritos, simplifica a visualização do problema, assim como facilita a substituição de componentes e identificação dos efeitos produzidos pelas diversas entradas da estrutura. É também possível simular apenas a cinemática, isolando as entradas e saídas dos blocos dos elementos, como mostrado na Figura 87, onde blocos na entrada da estrutura de junção e na saída dos blocos dos elementos. Adotou-se essa forma para evitar que portas fiquem desconectadas e possam produzir erros de sinais e de passagem de parâmetros. Cabe lembrar que uma das características do SIMULINK® é acusar erros em um determinado bloco, quando na verdade esse erro está em um bloco anterior. Desta forma é fácil verificar se há erros de modelagem na estrutura de junção, como por exemplo, sinais trocados ou valores incompatíveis de velocidade. No caso mostrado na Figura 87, o valor da componente vertical da velocidade absoluta do CG da roda não mais é fornecido pelo bloco dos elementos, o último à direita, e sim pelo bloco inserido entre a barra de multiplexação de sinais e o bloco da estrutura de junção, passando a ser agora uma fonte de fluxo ideal, e não mais um fluxo resultante de uma inércia elemento causal.

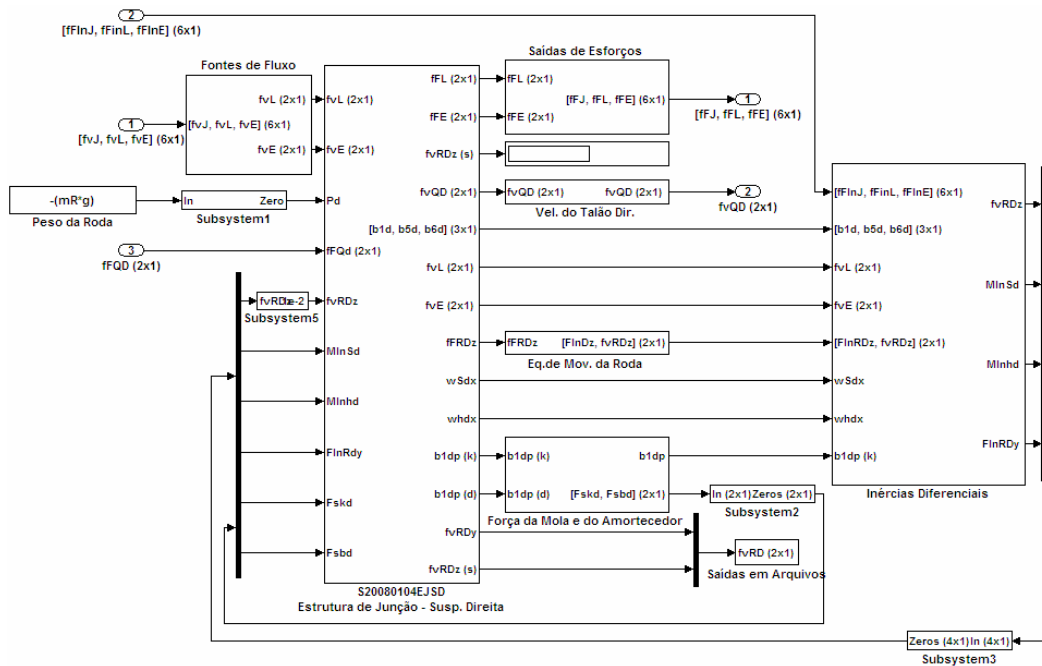


Figura 87 – Isolamento das variáveis pertinentes aos elementos e campos anexos à estrutura de junção mediante inserção de blocos para anular os sinais.

Um teste simples é atribuir os mesmos valores às variáveis das fontes de fluxo, assim o mecanismo tem que continuar “imóvel”, ou seja, se as velocidades de entrada são nulas, não pode haver velocidade de saída não-nula; se as velocidades de entrada são iguais e não-nulas, ainda assim não pode haver velocidade de saída não-nula. O mesmo pode ser feito no chassi, atribuindo-se, por exemplo, valor nulo para a taxa de rolagem enquanto atribui-se um valor qualquer para a velocidade linear absoluta do CG. As velocidades lineares absolutas dos pontos de ancoragem devem ser as mesmas. Além disso, toda a cinemática do sistema pode ser avaliada, atribuindo-se valores às velocidades dos centros de gravidade e observando como se comportam as velocidades de saída. Por exemplo, um valor de velocidade vertical positiva atribuído ao CG do chassi e velocidade vertical nula para os CGs das rodas conduz a velocidades iguais em módulo mas diferentes em sentido dos semi-eixos das suspensões. O semi-eixo direito tem velocidade angular positiva e o esquerdo, negativa.

Outro teste é o da avaliação das forças dos elementos complacentes. Isolando-se as demais entradas de esforços, pode-se avaliar se o sinal da força da suspensão está correto. Se não for o caso, o amortecedor pode trabalhar como se

estivesse fornecendo energia ao sistema ao invés de dissipá-la. Pode-se também comparar o valor da força da mola para cada valor de velocidade, simulando diversas posições de equilíbrio estático. Não há necessidade de alterar o equacionamento, bastando apenas desconectar os módulos desejados.

A forma de execução de cada modelo é a mesma. Inicialmente executa-se um arquivo contendo todos os parâmetros necessários ao modelo, inclusive as posições iniciais dos corpos. Finda a execução deste arquivo, inicia-se a do SIMULINK®. Após o término da simulação executa-se um arquivo de saídas, para gerar os gráficos desejados.