



**GRUPO VII  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

**INFLUÊNCIA DAS RESTRIÇÕES DOS SUBSISTEMAS NA DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE  
INTERCÂMBIO**

**João M. Dahl\***

**Leonardo S. Ferreira**

**Fernando J. C. França**

**ONS**

**FURNAS**

**ONS**

**RESUMO**

As interligações inter-regionais viabilizam a transferência de energia entre as diversas bacias hidrográficas de modo que a operação do SIN – Sistema Interligado Nacional se faça ao menor custo sob condições mais seguras. Portanto faz-se necessário explorar a máxima capacidade das interligações, desde que se garanta um bom desempenho do sistema.

A avaliação desse desempenho é feita inicialmente em regime permanente, verificando a capacidade de transmissão entre as regiões, sob o ponto de vista de atendimento aos requisitos mínimos de tensão e sem violação da capacidade de carregamento dos equipamentos. Posteriormente analisa-se o comportamento do SIN sob o aspecto de estabilidade dinâmica.

Apresentamos nesse trabalho uma análise do desempenho dinâmico da interligação sul-sudeste para diferentes cenários energéticos, bem como os máximos intercâmbios, de acordo com premissas e critérios pré-estabelecidos, enfocando as restrições internas aos subsistemas em regime permanente nas instalações de transmissão e sua influência na determinação desses intercâmbios. Sendo assim, é feita uma comparação entre os limites que podem ser efetivamente praticados daqueles estritamente decorrentes da análise de estabilidade dinâmica. Essas análises contemplam a evolução dos limites, considerando as proposições de ampliações e os reforços previstos na Rede Básica do SIN no horizonte de 4 (quatro) anos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Interligação, Limites de Intercâmbio, Subsistemas, Restrições

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A operação de forma coordenada do sistema interligado, aproveitando-se as diversidades observadas entre regiões no que tange à hidrologia e ao comportamento da carga, apesar de ser bastante complexa, proporciona maior disponibilidade de energia do que a operação de cada subsistema isoladamente. Para tal, existem instalações de transmissão pelas quais são realizadas as trocas de energia entre bacias hidrográficas. Essas instalações constituem as interligações inter-regionais.

Nos estudos das interligações, procura-se maximizar as trocas de energia, levando em conta a manutenção dos níveis de segurança e as restrições de equipamentos. Efetuam-se análises em regime permanente e dinâmico sobre o desempenho das interligações, buscando-se determinar não só os limites de intercâmbio, mas também avaliar os impactos sobre os sistemas receptores e sua influência nos referidos limites. Tais limites são determinados quando o acréscimo no intercâmbio implica em alguma violação no sistema, podendo ser essa de regime permanente ou dinâmico.

## 2.0 - A INTERLIGAÇÃO SUL-SUDESTE

Até o início do ano 2003, a interligação entre as regiões sul e sudeste era composta, basicamente, pelo sistema de transmissão em 750 kV que escoava a energia da usina de Itaipu 60 Hz. Os pontos desse sistema onde são efetuadas as conexões são as subestações de Ivaiporã 750/500 kV, localizada no estado do Paraná e Tijucu Preto 750/500-345 kV, localizada no estado de São Paulo. Além dessa rede de transmissão em 750 kV existem outras redes de menor capacidade que conectam o sistema de transmissão de São Paulo à área norte do Paraná (em 230 kV e 88 kV) e ao Mato Grosso do Sul (em 138 kV). No início de 2003, entrou em operação a LT 525 kV Bateias - Ibiúna, circuito duplo, com 50% de compensação série, que proporcionou um aumento na capacidade de intercâmbio.

A partir de 2006 a interligação sul/sudeste será expandida através da LT 500 kV Londrina - Araraquara, passando por Assis para futura transformação 500/440 kV, integrando energeticamente ainda mais as regiões sul e sudeste, além de melhorar as condições de segurança do SIN quando da ocorrência de contingências múltiplas na rede de 440 kV. A Tabela 2.1 apresenta as principais linhas de transmissão que compõem essa interligação.

TABELA 2.1 – Linhas de transmissão que compõem a interligação sul / sudeste

| INTERCÂMBIOS                                                                                  | DESCRIÇÃO                                                            |                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>FSE</b>                                                                                    | Somatório do fluxo, em MW, nas LT 765 kV Ivaiporã -Itaberá C1,C2, C3 |                                                |
| <b>FBAIB (Bateias / Ibiúna)</b>                                                               | Somatório do fluxo, em MW, na LT 500 kV Bateias - Ibiúna C1,C2       |                                                |
| <b>FLOAS (Londrina / Assis)</b>                                                               | <b>LT 500 kV</b>                                                     | Londrina - Assis                               |
| <b>Fluxo<br/>Norte Paraná<br/>↓<br/>São Paulo e Mato Grosso do<br/>Sul</b>                    | Somatório do fluxo de potência ativa nas seguintes instalações:      |                                                |
|                                                                                               | <b>LT 230 kV:</b>                                                    | Guaíra - Dourados / Londrina - Assis           |
|                                                                                               |                                                                      | Maringá - Assis / Figueira – Chavantes         |
|                                                                                               | <b>LT 138 kV</b>                                                     | Loanda - Rosana                                |
| <b>LT 88 kV</b>                                                                               | Andirá - Salto Grande                                                |                                                |
| <b>RSE<br/>(Recebimento do Sudeste)</b>                                                       | FSE + FBAIB + FLOAS+ (Fluxo Norte Paraná→São Paulo e MS)             |                                                |
| <b>SUL→SE<br/>(FSUL: Fornecimento do Sul)<br/>e<br/>SE→SUL<br/>(RSUL: Recebimento do Sul)</b> | Somatório do fluxo de potência ativa nas seguintes instalações:      |                                                |
|                                                                                               | <b>525 kV</b>                                                        | - Bateias - Ibiúna C1 e C2 e Londrina - Assis; |
|                                                                                               | <b>765 / 525 kV</b>                                                  | - Transformadores de Ivaiporã 1, 2, 3;         |
|                                                                                               | <b>LT 230 kV</b>                                                     | Guaíra - Dourados / Londrina - Assis           |
|                                                                                               |                                                                      | Maringá - Assis / Figueira – Chavantes         |
|                                                                                               | <b>LT 138 kV</b>                                                     | Loanda - Rosana                                |
| <b>LT 88 kV</b>                                                                               | Andirá - Salto Grande                                                |                                                |

## 3.0 - PREMISSAS, CRITÉRIOS, CONFIGURAÇÃO E CENÁRIOS

### 3.1 - Programa de obras de transmissão e geração (1,2)

As instalações de transmissão consideradas são aquelas que já foram objeto de licitação ou de autorização pela ANEEL, estando em fase de construção e com prazo para entrada em operação estabelecido em contrato de concessão e Contrato de Prestação dos Serviços da Transmissão - CPST ou em resolução da ANEEL. Além disso, contemplaram-se outras, ainda sem concessão, porém indicadas no documento PAR – Plano de Ampliações e Reforços / PDET – Programa Determinativo da Expansão da Transmissão.

Em relação ao programa de geração consideram-se as usinas novas com contratos de concessão ou com solicitações de acessos já formalizados junto ao ONS e Agentes, e as transferências contratadas em interligações internacionais;

### 3.2 - Capacidade dos equipamentos de transmissão (1,3)

A capacidade dos equipamentos de transmissão adotada nos estudos são as que constam no Contrato de Prestação de Serviço da Transmissão – CPST. Com relação às obras futuras foi adotada a mesma capacidade considerada nos estudos do planejamento realizados pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos - CCPE.

### 3.3 - Esquemas de corte de geração (ECG)

Foram considerados somente os esquemas de corte de geração existentes.

### 3.4 - Patamares de carga

Consideraram-se os patamares de carga pesada, média e leve.

### 3.5 - Despacho de Itaipu - Regiões sul e sudeste

O despacho de Itaipu variou entre 4.900 MW e 6.300 MW, dependendo do patamar de carga.

### 3.6 - Limites de FSE

Admitiu-se como premissa um valor máximo nos circuitos de 750 kV Ivaiporã – Itaberá de 7.300 MW.

### 3.7 - Critério de contingências (3,4)

O critério adotado foi o de contingências simples (n-1).

### 3.8 - Critérios dos estudos de estabilidade (5)

Os principais critérios para a determinação dos limites de intercâmbio foram:

- Aplicação de curto monofásico, duração de 80 milisegundos, seguido de abertura de um circuito;
- Não foi admitida a atuação do ERAC – Esquema Regional para Alívio de Carga;
- Não foi admitida a atuação dos equipamentos de proteção de sobretensão que acarretem perda de carga;
- As máquinas, para os defeitos simulados, devem permanecer em sincronismo e os subsistemas devem apresentar oscilações bem amortecidas.

### 3.9 - Cenários energéticos

Os limites de intercâmbio foram estabelecidos para os seguintes cenários energéticos:

- sudeste importador;
- sul importador; e
- sul e sudeste exportadores.

A figura 3.1 ilustra os 3 (três) cenários estudados com os respectivos sentidos dos fluxos:

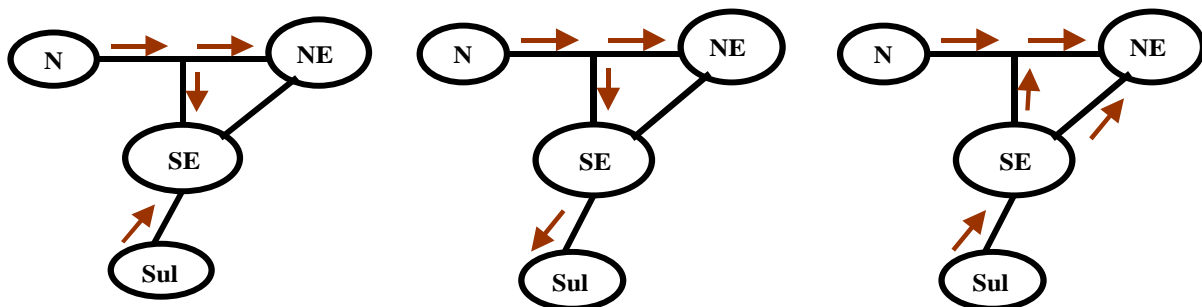


FIGURA 3.1 - Cenários sudeste importador, sul importador e sul/sudeste exportadores

## 4.0 - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE INTERCÂMBIO (1)

Este item apresenta os limites de exportação do sul (FSUL) e os limites de recebimento pelo sul (RSUL), resultantes de uma avaliação do desempenho do SIN – Sistema Interligado Nacional sob os aspectos de carregamento nos equipamentos, tensões nos barramentos e estabilidade dinâmica das interligações, frente a contingências. Esses limites dependem simultaneamente de diversos fatores dos quais podemos destacar: geração em Itaipu 60 Hz, fluxo no tronco de 750 kV (FSE), fluxo no elo de corrente contínua, fluxo na LT 500 kV Ibiúna – Bateias, fluxo na LT 500 kV Londrina-Assis-Araraquara, carga do SIN e inércia dos subsistemas sul e sudeste.

Também se analisou o cenário sudeste importador com o objetivo de determinar os limites de recebimento pelo sudeste (RSE). No entanto só é possível para o patamar de carga pesada devido à limitação de baixa inércia do Sudeste. Nesse contexto o RSE assume um valor máximo de 9.500 MW em 2005, devido ao colapso de tensão em Samambaia para faltas no tronco de 750 kV e 10.300 MW em 2006 e 2007 em função do máximo fluxo no tronco de 750 kV admissível, da ordem de 7.300 MW.

Apresentamos aqui uma síntese do desempenho dinâmico dos subsistemas sul e sudeste, para os cenários analisados, bem como os máximos intercâmbios a serem praticados.

#### 4.1 - Cenário sul e sudeste exportadores

Nesse cenário ocorre transferência de energia dos subsistemas sul para o sudeste, através da interligação sul/sudeste, e do subsistema sudeste para o norte/nordeste, através das interligações norte/sul e sudeste/nordeste. Caracteriza-se por elevados carregamentos na rede de transmissão de 525 kV e 230 kV do subsistema sul, na LT 500 kV Bateias - Ibiúna, no tronco de 750 kV, e nas transformações de 750/500 kV e 750/345 kV de Tijuco Preto.

De forma a proporcionar a máxima exportação do sul, adotou-se o despacho de Itaipu reduzido uma vez que a geração do sul compete com Itaipu. Essa exportação é restringida pelo elevado fluxo no tronco de 750 kV devido a defeitos no sistema de 525 kV do sul, pela falta em Ivaiporã seguido da abertura da LT 525 kV Ivaiporã - Londrina ou da LT 525 kV Ivaiporã - Salto Santiago e pela inércia mínima no Sudeste. Além disso, as contingências da LT 525 kV Bateias - Curitiba e da LT 525 kV Blumenau - Campos Novos mostraram-se graves, acarretando oscilações pouco amortecidas.

Considerando a limitação devida somente à estabilidade do sistema, a exportação do sul (FSUL), gira em torno de 4.000 MW médios em 2005. Com a entrada em 2006 dos reforços na rede de transmissão do subsistema sul, como as linhas de transmissão 525 kV Salto Santiago - Ivaiporã C2, Campos Novos - Blumenau C2, Cascavel do Oeste - Ivaiporã, Ivaiporã - Londrina C2, somadas a expansão da interligação através da LT 525 kV Londrina - Araraquara, há um aumento do intercâmbio sul/sudeste (FSUL) para 5.500 MW médios que se mantém até o final do horizonte uma vez que não há reforços previstos para os anos de 2007 e 2008. Entretanto, as restrições de regime permanente são mais severas do que as relacionadas à estabilidade do sistema, limitando os intercâmbios (FSUL) em todo horizonte do estudo.

#### 4.2 - Cenário sul importador

Neste cenário temos a transferência de energia dos subsistemas norte e nordeste para o sudeste, via interligação norte/sul, e do subsistema sudeste para o sul através da interligação sul/sudeste. Caracteriza-se pelo elevado carregamento da rede de transmissão de 500 kV e 440 kV do sudeste e de 525 kV do sul. Além disso, apresenta despacho reduzido das máquinas do sul, levando este subsistema a operar com baixa inércia, logo mais susceptível a oscilações pouco amortecidas.

A primeira restrição existente no limite de importação do sul é que não pode ser superior a 50% da carga total da região sul, ficando em torno de 4.000 MW médios em 2005 e 4.400 MW médios nos demais anos. Estes são os montantes para o qual o ERAC - sul atualmente está dimensionado. Nesta condição de importação, o sistema não apresenta problemas com relação à estabilidade eletromecânica sendo estes os limites dinâmicos.

### 5.0 - OS SISTEMAS RECEPTORES E SUAS RESTRIÇÕES (1)

Os sistemas receptores devem, a princípio, serem capazes de absorver os montantes de potência injetada pelos demais subsistemas, de modo a otimizar a operação coordenada do SIN - Sistema Interligado Nacional. No entanto, observa-se para o horizonte em estudo que as restrições em regime permanente limitam os intercâmbios sul/sudeste nos dois sentidos.

Nesse item são listadas as restrições nos subsistemas do sul e do sudeste, por cenário energético, que impediram a máxima exploração da capacidade dinâmica das interligações. Ressalta-se que as restrições apresentadas a seguir estão condicionadas ao plano de obras considerado neste trabalho, bem como aos critérios adotados.

#### 5.1 - Restrições nos subsistemas - cenário sul e sudeste exportadores

Neste cenário verificam-se restrições aos intercâmbios, decorrente de violações de carregamentos e tensão nos subsistemas, em todos os patamares de carga. Os valores de exportação do sul (FSUL) necessários para que não ocorra violação dos critérios de carregamento e tensão, em condição normal de operação e durante contingências, atingem praticamente os mesmos valores em todo horizonte do estudo, da ordem de 3500 / 4000 MW médios.

##### 5.1.1 - Restrições no sul

As maiores sobrecargas no subsistema sul no ano 2005 ocorrem no sistema de 230kV do leste do Paraná (C. Industrial / Galha Azul / Umbará), do oeste do Paraná (Cascavel / Salto Osório / Foz do Chopin) e na rede de

525kV do Iguçu (Areia / S. Santiago / Ivaiporã), tendo como contingências críticas a LT 525 kV Bateias - Curitiba e a LT 525 kV Campos Novos - Blumenau. As sobrecargas na rede de 525 kV são evitadas com os esquemas de corte de geração (ECG's) das usinas do Iguçu. Em 2006, com a entrada dos reforços de 525 kV, as sobrecargas nas linhas de 525 kV são eliminadas e parte dos ECG's poderá ser desativada. Entretanto, mantêm-se os problemas no sistema de 230kV do leste e oeste do Paraná e no leste de Santa Catarina, em função do aumento de intercâmbio proporcionado pela expansão da interligação. Nesse mesmo ano, ocorre sobrecarga na LT 230 kV Blumenau - Joinville, devido à emergência da LT 525 kV Curitiba – Blumenau, na transformação de Curitiba 525/230kV, na perda da LT 525 kV Bateias/Curitiba, e na transformação de Campos Novos 525/230kV, na emergência da mesma, quando do despacho pleno das UHE's Barra Grande e Campos Novos.

Quanto ao perfil de tensão, este se encontra degradado durante emergências. Em 2005 as regiões de Cascavel do Oeste 525kV e o 230kV do norte do Paraná são as mais afetadas. A partir de 2006 ocorre afundamento de tensão na rede 230kV no norte do Paraná, juntamente com o 525 kV em Santo Ângelo, Blumenau, Caxias. Além disso, as regiões de Gravataí, Caxias e a rede de 230kV do Mato Grosso do Sul (Dourados, Anastácio, Guaíra) também apresentam degradação do perfil de tensão em todo horizonte.

#### 5.1.2 - Restrições no sudeste

No sudeste as principais sobrecargas no ano de 2005 estão localizadas em algumas linhas de transmissão de 345 kV que saem de Tijuco Preto (LT 345 kV Tijuco Preto – Itapeti) e de 345 kV e 500 kV ligadas a Ibiúna (LT 345 kV Ibiúna – Interlagos, LT 500 kV Ibiúna – Campinas), decorrente de emergência das mesmas. Nos demais anos perdura a sobrecarga na LT 500 kV Campinas - Ibiúna.

#### 5.2 - Restrições nos subsistemas sul e sudeste - cenário sul Importador

Na situação em que o sul importa energia para o sudeste, também se verificam restrições aos intercâmbios. As reduções necessárias aos intercâmbios para que não ocorra violação dos critérios de carregamento e tensão no sudeste e no sul, em condição normal e durante contingências, atingem praticamente os mesmos valores. O valor do recebimento pelo sul (RSUL) no ano de 2005 deve ser reduzido para 2600 MW médios e nos anos seguintes para 3500 MW médios.

##### 5.2.1 - Restrições no sul

Em 2005, as restrições no subsistema sul ocorrem basicamente devido a sobrecargas na rede de 230kV que interliga o oeste Santa Catarina ao sul do Paraná (Xanxerê, Pato Branco, Salto Osório), leste do Paraná (região de Curitiba) e leste de S. Catarina (Blumenau, Joinville), devido a emergências na própria rede de 230 kV e na rede de 525 kV. A partir do ano 2006 persistem ainda as sobrecargas no leste e norte do Paraná e no leste de Santa Catarina, que é o caso da LT Londrina – Apucarana 230 kV, cuja sobrecarga ocorre em regime permanente. Nesse contexto, observa-se que a emergência da LT 525 kV Bateias – Curitiba é a mais severa, sobrecarregando não só a rede de 230 kV do leste do Paraná, como a transformação 525/230 kV de Bateias, perdurando pelos anos de 2007 e 2008. Além disso, ocorre também sobrecarga na LT 230 kV Joinville - Curitiba em função da emergência da LT 525 kV Curitiba – Blumenau.

##### 5.2.2 - Restrições no sudeste

No subsistema sudeste as sobrecargas localizam-se na rede de 500 kV que interliga as subestações de Emborcação, Jaguará, São Gotardo e Marimondo, e as subestações de Araraquara, Poços e Campinas. A rede de 345kV de Furnas, Itutinga e Adrianópolis também se mostra bastante carregada. Além disso, as transformações de Água Vermelha 500/440 kV, Poços 500/345 kV e Assis 440/230 kV apresentam sobrecargas, essa última com 40% em operação normal. No entanto, este problema é equacionado com a entrada do 2º banco de transformadores e com o reforço da interligação sul/sudeste através da LT de 525 kV Londrina - Assis – Araraquara. Também ocorrem restrições relacionadas a violações de carregamento no sistema de 440 kV na região de Assis, Capivara e Taquaruçu, dependendo do despacho das usinas do pontal do Paranapanema, além de violações de tensão em Ribeirão Preto, Santa Bárbara e Sumaré. De 2006 em diante mantêm-se as sobrecargas nas regiões de Marimondo, Araraquara, Poços e Campinas, além da transformação de Água Vermelha 500/440 kV.

#### 6.0 - LIMITES DINÂMICOS X LIMITES EM REGIME PERMANENTE

A entrada em operação da LT 525 kV Bateias/Ibiúna no ano 2003 aumentou a capacidade da interligação, no que diz respeito aos limites dinâmicos, que não foi acompanhado pela rede de transmissão dos subsistemas.

Considerando o despacho de Itaipu reduzido de forma a explorar o parque gerador do sul, os limites de exportação do sul, no ano de 2005, é de 4.000 MW médios. Porém, devido às restrições de regime permanente o FSUL máximo limita-se a 3.500MW médios. A partir do ano 2006, mesmo com as ampliações e os reforços

previstos para as redes de 230kV e 525kV do sul, permanece a defasagem entre os limites dinâmicos, que é de 5.500 MW médios e os limites considerando as sobrecargas na rede de 230 kV, em torno de 4.000 MW médios. Para os demais anos (2007 e 2008) não há avanço nesses limites em virtude da ausência de reforços previstos. A Figura 6.1 apresenta os limites de FSUL, enfatizando a diferença dos limites estritamente dinâmicos para os limites considerando as restrições em regime permanente no início e no final do horizonte:

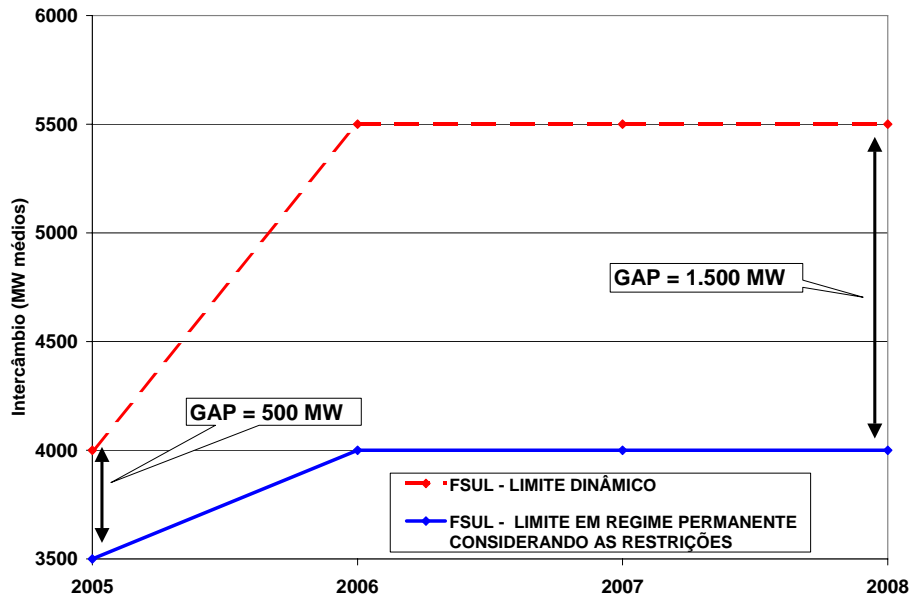


FIGURA 6.1 – Limites de exportação do sul para o horizonte 2005-2008

Com relação à importação do sul - RSUL, ocorrem violações de tensão e de carregamento de transformações e linhas de transmissão, em regime permanente e em emergências, conforme mencionado no item 5.1. Tais violações restringem a importação do subsistema sul para 2600 MW médios em 2005, e 3500 MW médios para os demais anos. A Figura 6.2 apresenta dois valores de limites de Recebimento do Sul (RSUL), um correspondente a 50% da carga total do sul, coerente com o ERAC atual e aderente a estabilidade dinâmica do sistema, e outro considerando as restrições de regime permanente:

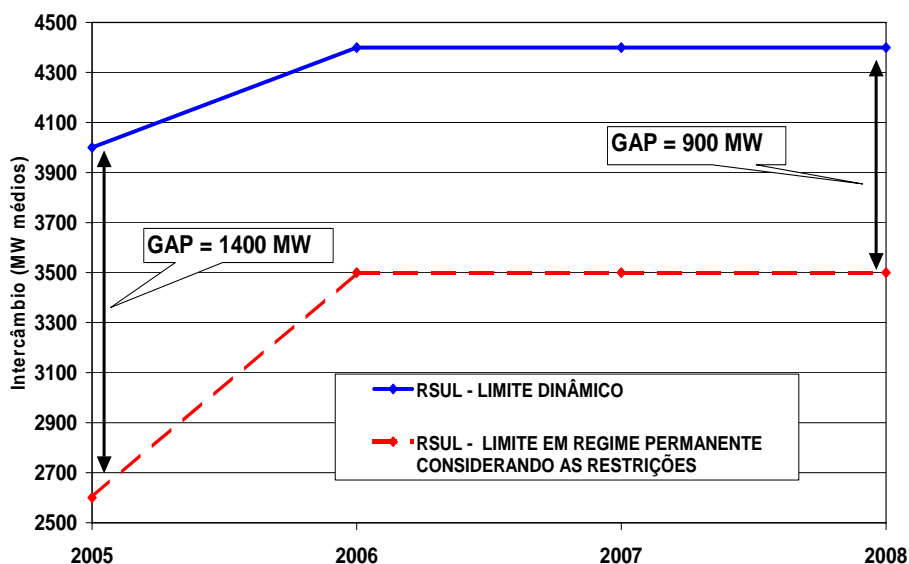


FIGURA 6.2 – Limites de importação do sul para o horizonte 2005-2008

## 7.0 - CONCLUSÕES

O artigo apresentou uma análise do comportamento da interligação sul/sudeste, em regime dinâmico e em regime permanente, bem como os possíveis níveis de intercâmbio a serem praticados, em função das restrições existentes nos sistemas receptores.

Foram identificadas nos subsistemas sobrecargas nas transformações e linhas de transmissão, além de violações das tensões mínimas admissíveis, que inviabilizam a máxima exploração da interligação no que se refere à capacidade dinâmica da mesma. Em função disso, os limites de intercâmbio com relação à estabilidade eletromecânica são bastante superiores ao que efetivamente pode ser praticado, devido às restrições de regime permanente nos subsistemas.

Conclui-se que a evolução da rede de transmissão dos subsistemas não acompanha a expansão da interligação sul/sudeste ao longo do horizonte em estudo, criando-se um “gap” tanto nas situações em que o sul exporta como nos casos em que importa, mostrando a necessidade de ampliar e reforçar os sistemas receptores, sobretudo do sul, de modo a otimizar a operação do Sistema Interligado Nacional – SIN.

## 8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, PAR 2005-2007– Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica, Julho 2004.
- (2) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos - CCPE , PAR / PDET 2004-2007, Dezembro 2004.
- (3) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, Procedimentos de Rede, Módulo 4 – Plano de Ampliações e Reforços da Rede Básica, Julho 2000.
- (4) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, Procedimentos de Rede, Módulo 23 – Critérios para Estudos, Julho 2001.
- (5) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, Critérios e Diretrizes para Estudo de Estabilidade Eletromecânica do ONS, 2002.