

Inclusão de Medidas Fasoriais Sincronizadas na Estimação de Estados em Sistemas de Potência

André N. C. de Albuquerque e Antonio Simões Costa



Grupo de Sistemas de Potência
Universidade Federal de Santa Catarina



Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

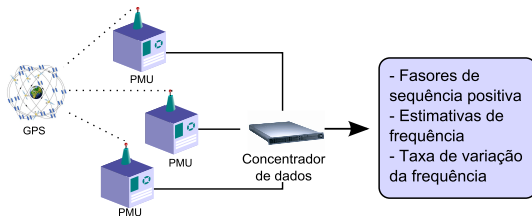
Fundamentos - I

- Avanços na área de proteção computadorizada (década de 80)
⇒ primeiros resultados significativos com medição fasorial;
- Amostragem sincronizada em subestações geograficamente distantes ⇒ fasores medidos na mesma referência angular;
- Os dados gerados pelas Unidades de Medição Fasorial (PMU) são enviados ao Concentrador de Dados (PDC), onde as medidas são alinhadas e transmitidas;

Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

Fundamentos - I

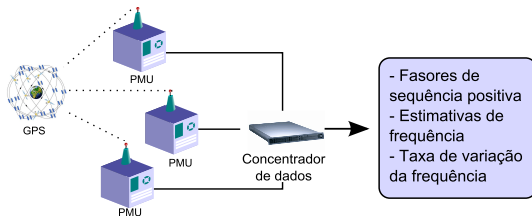
- Avanços na área de proteção computadorizada (década de 80)
⇒ primeiros resultados significativos com medição fasorial;
- Amostragem sincronizada em subestações geograficamente distantes ⇒ fasores medidos na mesma referência angular;
- Os dados gerados pelas Unidades de Medição Fasorial (PMU) são enviados ao Concentrador de Dados (PDC), onde as medidas são alinhadas e transmitidas;



Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

Fundamentos - I

- Avanços na área de proteção computadorizada (década de 80) ⇒ primeiros resultados significativos com medição fasorial;
- Amostragem sincronizada em subestações geograficamente distantes ⇒ fasores medidos na mesma referência angular;
- Os dados gerados pelas Unidades de Medição Fasorial (PMU) são enviados ao Concentrador de Dados (PDC), onde as medidas são alinhadas e transmitidas;



Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

Fundamentos - II

- Utiliza o GPS como fonte de sincronização;
- Altas taxas de amostragem (até 128 amostras/ciclo);

Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

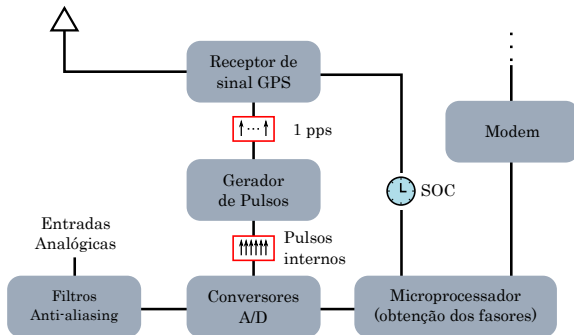
Fundamentos - II

- Utiliza o GPS como fonte de sincronização;
- Altas taxas de amostragem (até 128 amostras/ciclo);

Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

Fundamentos - II

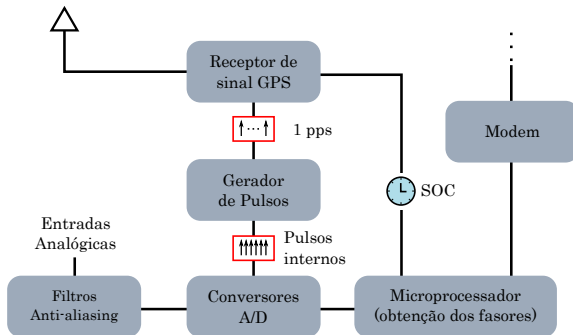
- Utiliza o GPS como fonte de sincronização;
- Altas taxas de amostragem (até 128 amostras/ciclo);



Sistema de Medição Fasorial Sincronizada

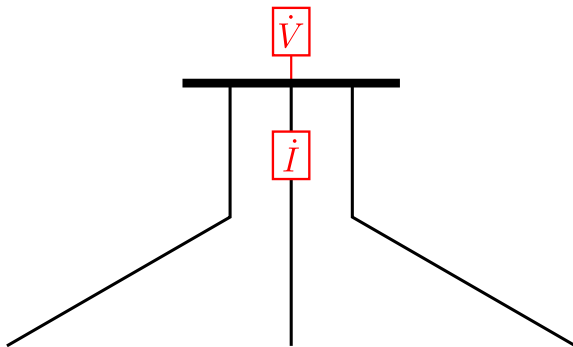
Fundamentos - II

- Utiliza o GPS como fonte de sincronização;
- Altas taxas de amostragem (até 128 amostras/ciclo);



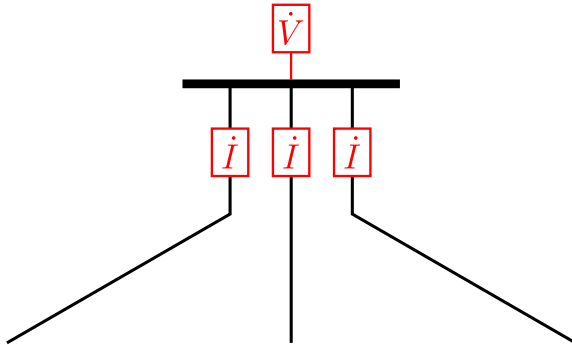
Medidas Fasoriais para EESP

Esquema de medição I



Medidas Fasoriais para EESP

Esquema de medição II



Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Estratégias mais conhecidas:

- Estimadores de estados baseados apenas em medidas fasoriais
- Estimadores de estados centralizados (estimadores “híbridos”)
- Estimadores de estados baseados em múltiplos estágios

Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Estratégias mais conhecidas:

- Estimadores de estados baseados apenas em medidas fasoriais
- Estimadores de estados centralizados (estimadores “híbridos”)
- Estimadores de estados baseados em múltiplos estágios

Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Estratégias mais conhecidas:

- Estimadores de estados baseados apenas em medidas fasoriais
- Estimadores de estados centralizados (estimadores “híbridos”)
- Estimadores de estados baseados em múltiplos estágios

Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Estratégias mais conhecidas:

- Estimadores de estados baseados apenas em medidas fasoriais
- Estimadores de estados centralizados (estimadores “híbridos”)
- Estimadores de estados baseados em múltiplos estágios

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores baseados apenas em medidas fasoriais

Principais vantagens:

- Estimador de estados linear \Rightarrow mais rápidos e eficientes;
- Favorece aplicações na estimação dinâmica de estados.

Principais desvantagens:

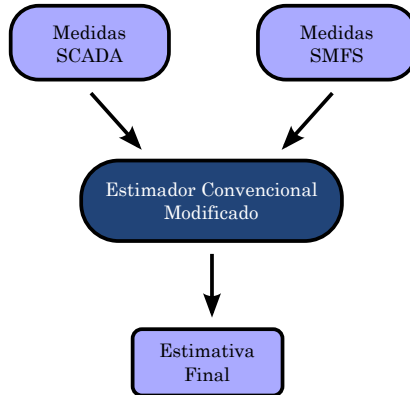
- Descartam a estrutura e a experiência adquirida ao longo do tempo na monitoração de redes elétrica com os sistemas SCADA:
 - Reduz o índice de redundância global;
 - Dificulta o tratamento de medidas espúrias.
 - Impacto sobre a confiabilidade do processo de estimação;
- Requer que a rede elétrica seja observável apenas com medidas fasoriais \Rightarrow inviabilidade face ao número de PMUs disponíveis atualmente.

Estimadores Centralizados

- Processam medidas convencionais (SCADA) e fasoriais em um mesmo estimador;

Estimadores Centralizados

- Processam medidas convencionais (SCADA) e fasoriais em um mesmo estimador;



Estimadores Centralizados

- Os estimadores centralizados baseiam-se na expansão das variáveis do modelo de medição convencional:

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_S^T \\ \mathbf{z}_F^T \end{bmatrix}^T, \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_S^T \\ \mathbf{h}_F^T \end{bmatrix}^T, \quad \boldsymbol{\eta} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_S^T \\ \boldsymbol{\eta}_F^T \end{bmatrix}^T,$$

que levam à modificação das matrizes Jacobiana e de covariância dos erros de medição:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_S \\ \dots \\ \mathbf{H}_F \end{bmatrix} \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_S & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{R}_F \end{bmatrix}.$$

Estimadores Centralizados

- Os estimadores centralizados baseiam-se na expansão das variáveis do modelo de medição convencional:

$$\mathbf{z} = \left[\mathbf{z}_S^T : \mathbf{z}_F^T \right]^T, \quad \mathbf{h} = \left[\mathbf{h}_S^T : \mathbf{h}_F^T \right]^T, \quad \boldsymbol{\eta} = \left[\boldsymbol{\eta}_S^T : \boldsymbol{\eta}_F^T \right]^T,$$

que levam à modificação das matrizes Jacobiana e de covariância dos erros de medição:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_S \\ \dots \\ \mathbf{H}_F \end{bmatrix} \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_S & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{R}_F \end{bmatrix}.$$

Estimadores Centralizados

- Os estimadores centralizados baseiam-se na expansão das variáveis do modelo de medição convencional:

$$\mathbf{z} = \left[\mathbf{z}_S^T : \mathbf{z}_F^T \right]^T, \quad \mathbf{h} = \left[\mathbf{h}_S^T : \mathbf{h}_F^T \right]^T, \quad \boldsymbol{\eta} = \left[\boldsymbol{\eta}_S^T : \boldsymbol{\eta}_F^T \right]^T,$$

que levam à modificação das matrizes Jacobiana e de covariância dos erros de medição:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_S \\ \dots \\ \mathbf{H}_F \end{bmatrix} \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_S & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{R}_F \end{bmatrix}.$$

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;

+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores **distintos**:

Estimador baseado apenas em medidas do sistema SCADA



+

Estimador baseado apenas em medidas do SMFS



- Preserva inteiramente a estrutura convencional de estimação de estados;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes da implementação dos estimadores existentes;
- Podem ser utilizados estimadores **lineares**;
- O requisito de observabilidade da rede com respeito às medidas fasoriais pode ser relaxado.

Estimadores de Múltiplos Estágios

- As estratégias em múltiplos estágios se destacam em relação às demais;
- São propostos dois novos estimadores baseados na abordagem de múltiplos estágios:

Estimadores de Múltiplos Estágios

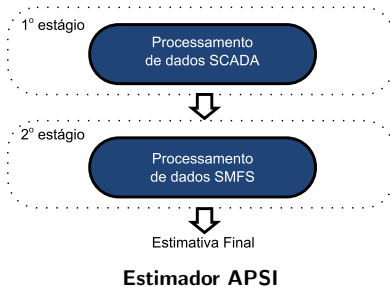
- As estratégias em múltiplos estágios se destacam em relação às demais;
- São propostos dois novos estimadores baseados na abordagem de múltiplos estágios:

Estimadores de Múltiplos Estágios

- As estratégias em múltiplos estágios se destacam em relação às demais;
- São propostos dois novos estimadores baseados na abordagem de múltiplos estágios:

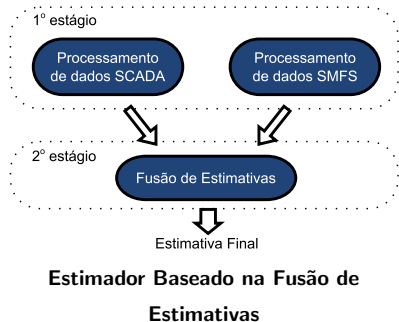
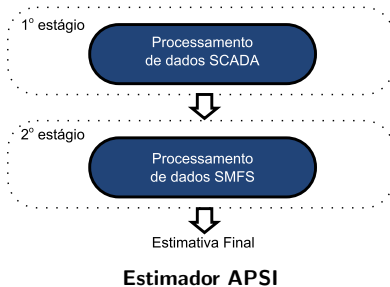
Estimadores de Múltiplos Estágios

- As estratégias em múltiplos estágios se destacam em relação às demais;
- São propostos dois novos estimadores baseados na abordagem de múltiplos estágios:



Estimadores de Múltiplos Estágios

- As estratégias em múltiplos estágios se destacam em relação às demais;
- São propostos dois novos estimadores baseados na abordagem de múltiplos estágios:



Estimador de Estados APSI

Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

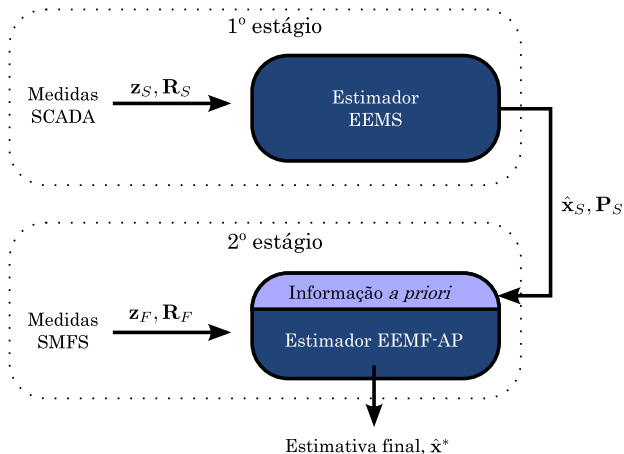
Visão Geral

Promove a incorporação das medidas fasoriais na estimação de estados a partir de uma arquitetura com dois estágios:

- Primeiro estágio:
 - Processadas apenas as medidas do sistema SCADA (estimador convencional);
- Segundo estágio:
 - As estimativas obtidas no primeiro estágio são aprimoradas através do processamento das medidas fasoriais.

Estimador de Estados APSI

Arquitetura da abordagem proposta



Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* ⇒ Estimador APSI (*A Priori State Information-based Estimator*).

Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* ⇒ Estimador APSI (*A Priori State Information-based Estimator*).

Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* ⇒ Estimador APSI (*A Priori State Information-based Estimator*).

Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* ⇒ Estimador APSI (*A Priori State Information-based Estimator*).

Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* ⇒ Estimador APSI (*A Priori State Information-based Estimator*).

Estimador de Estados APSI

Aspectos principais

- Combina os resultados dos estimadores SCADA com medidas fasoriais sem interferir com os estimadores convencionais existentes;
- Qualquer algoritmo de estimação de estados pode ser utilizado no primeiro estágio;
- Não há restrições sobre a observabilidade com respeito às medidas fasoriais;
- O segundo estágio consiste de um estimador de estados ortogonal com capacidade de processar informações *a priori* \Rightarrow Estimador **APSI** (*A P*riori *S*tate *I*nformation-based *E*stimator).

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$P_S = \left(H_S^T R_S^{-1} H_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$P_S = \left(H_S^T R_S^{-1} H_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$\mathbf{P}_S = \left(\mathbf{H}_S^T \mathbf{R}_S^{-1} \mathbf{H}_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$P_S = \left(H_S^T R_S^{-1} H_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$\mathbf{P}_S = \left(\mathbf{H}_S^T \mathbf{R}_S^{-1} \mathbf{H}_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Interface entre os dois estágios

- Consideração das estimativas SCADA como informações *a priori* \Rightarrow escolha de um fator de ponderação adequado;
- Escolha natural \Rightarrow matriz de covariância dos erros de estimação do estimador SCADA, ou seja:

$$\mathbf{P}_S = \left(\mathbf{H}_S^T \mathbf{R}_S^{-1} \mathbf{H}_S \right)^{-1}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{x}) = \frac{1}{2} [z - h(\hat{x})]^T R^{-1} [z - h(\hat{x})] + \frac{1}{2} (\hat{x} - \bar{x})^T P^{-1} (\hat{x} - \bar{x})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(H^T R^{-1} H + P^{-1}) \Delta x = H^T R^{-1} \Delta z + P^{-1} \Delta \bar{x}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$P \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies$ equação normal convencional

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Estimação de Estados com Informações *A Priori*

- Função objetivo da estimação de estados considerando informações *a priori* :

$$J(\hat{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2}[\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})] + \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1} (\hat{\mathbf{x}} - \bar{\mathbf{x}})$$

- Solução via Método da Equação Normal:

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} + \mathbf{P}^{-1}) \Delta \mathbf{x} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \Delta \mathbf{z} + \mathbf{P}^{-1} \Delta \bar{\mathbf{x}}$$

- Elevada incerteza a respeito das informações *a priori*:

$$\mathbf{P} \rightarrow \infty \implies \text{equação normal convencional}$$

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens com 3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do vetor de estados e dos fatores de escala para a matriz triangular superior na decomposição QR da matriz Jacobiana.

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

<p>sem informação <i>a priori</i></p>		

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>		
$x_j = 0$ $d_j^{(0)} = 0$		

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz P_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$x_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$x_0 = \bar{x}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$x_0 = \hat{x}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz P_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$\mathbf{x}_0 = \hat{\mathbf{x}}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz \mathbf{P}_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$x_0 = \bar{x}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$x_0 = \hat{x}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz P_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$\mathbf{x}_0 = \hat{\mathbf{x}}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação:** considerada apenas a diagonal principal da matriz \mathbf{P}_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$\mathbf{x}_0 = \hat{\mathbf{x}}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz \mathbf{P}_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$\mathbf{x}_0 = \hat{\mathbf{x}}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz \mathbf{P}_S .

Estimador de Estados APSI

Informações *A Priori* via versão rápida das rotações de Givens

- Versão das **rotações de Givens** com **3 multiplicadores** :
permite o processamento de informações *a priori* **sem** custo computacional adicional;
- Propriedade explorada via inicialização apropriada do **vetor de estados** e dos **fatores de escala** para a matriz triangular superior na decomposição QR da **matriz Jacobiana**:

Sem informação <i>a priori</i>	Com informação <i>a priori</i>	Estimativas SCADA como informações <i>a priori</i>
$\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ $d_i^{(0)} = 0$	$\mathbf{x}_0 = \bar{\mathbf{x}}$ $d_i^{(0)} = 1/\bar{\sigma}_i^2$	$\mathbf{x}_0 = \hat{\mathbf{x}}_S$ $d_i^{(0)} = 1/P_{Sii}$

- **Aproximação**: considerada apenas a diagonal principal da matriz \mathbf{P}_S .

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- **Combinar** os dois **vetores de estimativas** gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de **Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)**

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- **Combinar** os dois **vetores de estimativas** gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de **Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)**

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- Combinar os dois vetores de estimativas gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- **Combinar** os dois **vetores de estimativas** gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de **Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)**

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- Combinar os dois vetores de estimativas gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- **Combinar** os dois **vetores de estimativas** gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de **Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)**

Estimador Baseado na Fusão de Estimativas

Visão Geral

- São considerados dois estimadores de estados distintos, baseados em:
 - Medidas convencionais, do sistema SCADA (EEMS);
 - Medidas fasoriais sincronizadas (EEMF);

Abordagem proposta:

- **Combinar** os dois **vetores de estimativas** gerados pelos estimadores EEMS e EEMF, a fim de obter uma estimativa ótima.
- Para efetuar a combinação, aplicar ferramentas de **Fusão de Dados com Múltiplos Sensores (FDMS)**

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;
 - Sistemas biométricos de identificação (impressão digital + identificação da voz + leitura da íris + identificação da face);
 - Sistemas de gerenciamento de dados (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de diagnóstico de falhas (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de monitoramento de qualidade (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de controle de qualidade (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de controle de processos (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de controle de sistemas (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);
 - Sistemas de controle de sistemas (dados coletados de sensores de temperatura, umidade, velocidade, etc.);

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;
 - Sistemas biométricos de identificação (impressão digital + identificação da voz + leitura da íris + identificação da face);
 - Sistemas de monitoramento de aviões (radar pontual + sensor de imagens);
 - Sistemas processamento de imagens médicas (tomografia computadorizada + ressonância magnética + tomografia de emissão de pósitrons).

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;
 - Sistemas biométricos de identificação (impressão digital + identificação da voz + leitura da íris + identificação da face);
 - Sistemas de monitoramento de aviões (radar pontual + sensor de imagens);
 - Sistemas processamento de imagens médicas (tomografia computadorizada + ressonância magnética + tomografia de emissão de pósitrons).

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;
 - Sistemas biométricos de identificação (impressão digital + identificação da voz + leitura da íris + identificação da face);
 - Sistemas de monitoramento de aviões (radar pontual + sensor de imagens);
 - Sistemas processamento de imagens médicas (tomografia computadorizada + ressonância magnética + tomografia de emissão de pósitrons).

Fusão de Dados com Múltiplos Sensores

“Teoria, técnicas e ferramentas utilizadas para combinar dados de diversos sensores.”

- Exemplos de aplicação:
 - Teoria, técnicas e ferramentas que são utilizadas para combinar dados de diversos sensores;
 - Sistemas biométricos de identificação (impressão digital + identificação da voz + leitura da íris + identificação da face);
 - Sistemas de monitoramento de aviões (radar pontual + sensor de imagens);
 - Sistemas processamento de imagens médicas (tomografia computadorizada + ressonância magnética + tomografia de emissão de pósitrons).

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

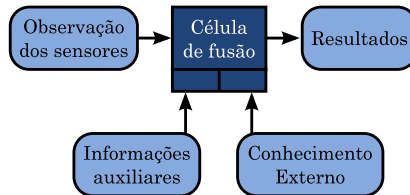
- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.

Estrutura dos Sistemas de Fusão de Dados

- Representação usual dos sistemas de fusão: rede composta por módulos autônomos
- Usualmente os sistemas de FDMS são representados por dois elementos:
 - Sensores: **dispositivos inteligentes**, cuja informação transmitida é chamada **observação**;
 - Célula de fusão: parte principal do sistema de FMDS, na qual as informações são efetivamente combinadas.



Redes de Fusão

- Diferentes arranjos de sensores e células de fusão permitem a concepção de diferentes arquiteturas para as **redes de fusão**;
- Em geral, as redes de fusão são divididas em três grupos, de acordo com sua arquitetura:
 - Arquitetura Centralizada;
 - Arquitetura Descentralizada;
 - Arquitetura Híbrida.

Redes de Fusão

- Diferentes arranjos de sensores e células de fusão permitem a concepção de diferentes arquiteturas para as **redes de fusão**;
- Em geral, as redes de fusão são divididas em três grupos, de acordo com sua arquitetura:
 - Arquitetura Centralizada;
 - Arquitetura Descentralizada;
 - Arquitetura Híbrida.

Redes de Fusão

- Diferentes arranjos de sensores e células de fusão permitem a concepção de diferentes arquiteturas para as **redes de fusão**;
- Em geral, as redes de fusão são divididas em três grupos, de acordo com sua arquitetura:
 - Arquitetura Centralizada;
 - Arquitetura Descentralizada;
 - Arquitetura Híbrida.

Redes de Fusão

- Diferentes arranjos de sensores e células de fusão permitem a concepção de diferentes arquiteturas para as **redes de fusão**;
- Em geral, as redes de fusão são divididas em três grupos, de acordo com sua arquitetura:
 - Arquitetura Centralizada;
 - Arquitetura Descentralizada;
 - Arquitetura Híbrida.

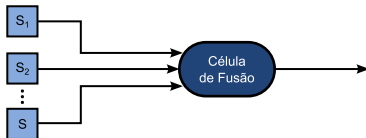
Redes de Fusão

- Diferentes arranjos de sensores e células de fusão permitem a concepção de diferentes arquiteturas para as **redes de fusão**;
- Em geral, as redes de fusão são divididas em três grupos, de acordo com sua arquitetura:
 - Arquitetura Centralizada;
 - Arquitetura Descentralizada;
 - Arquitetura Híbrida.

Arquitetura das Redes de Fusão

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Incorpora a “rede única” de sensores, sensores redundantes, sensores que não são aplicáveis em todos os pontos;
- Permite a coleta de dados de fontes heterogêneas, com diferentes níveis de detalhamento e diferentes tipos de dados;
- Permite a integração de dados de fontes heterogêneas, com diferentes níveis de detalhamento e diferentes tipos de dados;

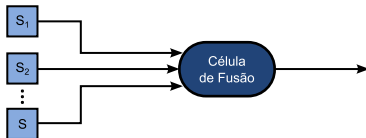
Arquitetura das Redes de Fusão



Rede de Fusão Centralizada

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

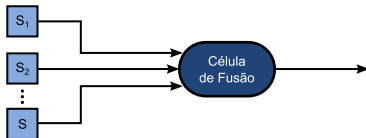
Arquitetura das Redes de Fusão



Rede de Fusão Centralizada

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora presente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

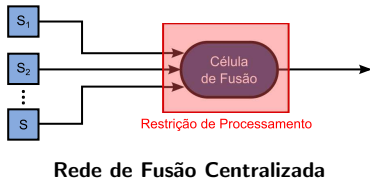
Arquitetura das Redes de Fusão



Rede de Fusão Centralizada

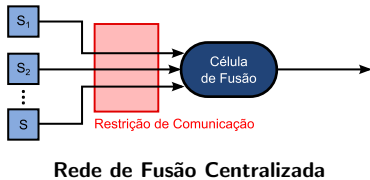
- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

Arquitetura das Redes de Fusão



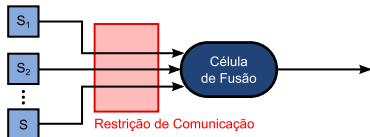
- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

Arquitetura das Redes de Fusão

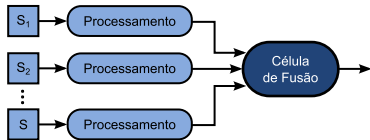


- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

Arquitetura das Redes de Fusão



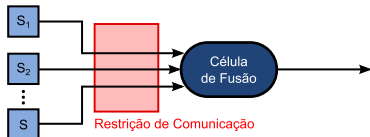
Rede de Fusão Centralizada



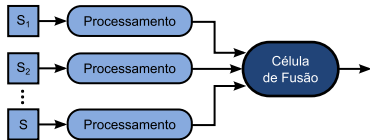
Rede de Fusão Descentralizada

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

Arquitetura das Redes de Fusão



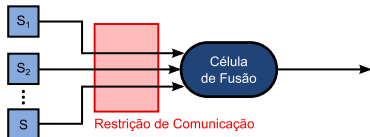
Rede de Fusão Centralizada



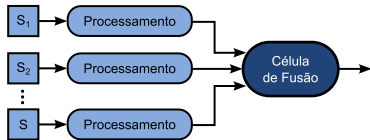
Rede de Fusão Descentralizada

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

Arquitetura das Redes de Fusão



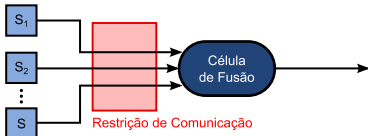
Rede de Fusão Centralizada



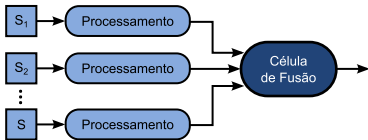
Rede de Fusão Descentralizada

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
 - Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
 - processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
 - são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
-
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

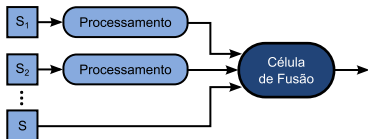
Arquitetura das Redes de Fusão



Rede de Fusão Centralizada



Rede de Fusão Descentralizada

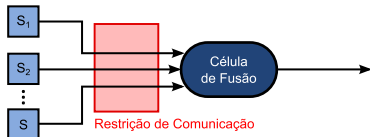


Rede de Fusão Híbrida

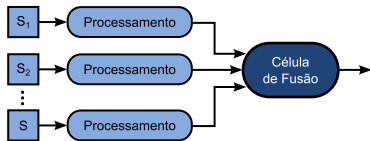
- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;

- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

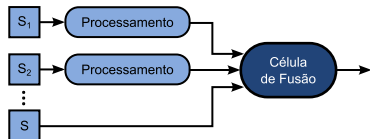
Arquitetura das Redes de Fusão



Rede de Fusão Centralizada



Rede de Fusão Descentralizada



Rede de Fusão Híbrida

- Combina as observações “puras” (não processadas) dos sensores;
- Teoricamente é a rede mais precisa, embora apresente **restrições** quanto a aplicações práticas.
- processamento feito de forma **distribuído**, antes da fusão;
- são recebidos na célula de fusão apenas os resultados;
- Composta pela **combinação** entre redes de arquitetura **centralizada** e **descentralizada**.

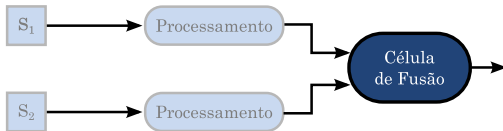
Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada: a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

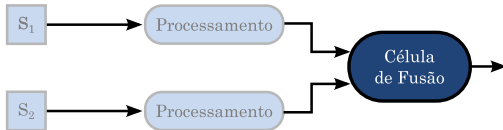


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

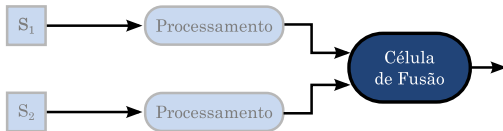


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

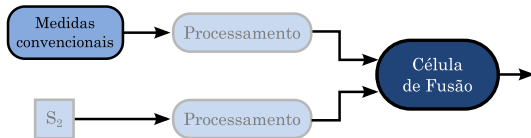


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

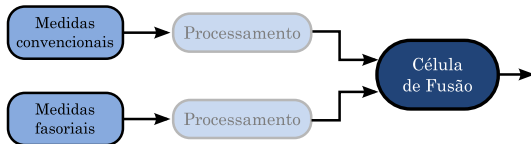


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

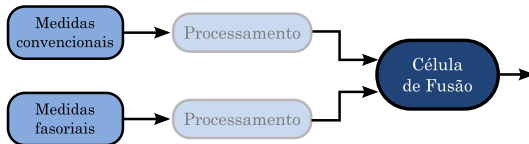


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

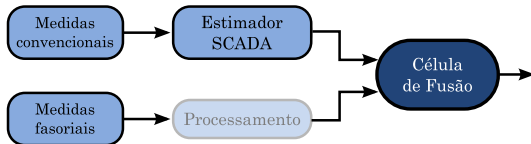


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

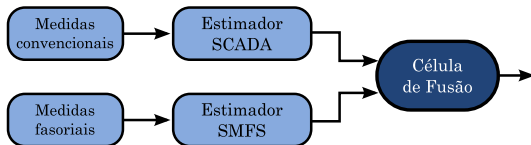


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:

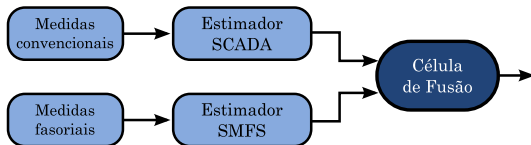


a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Aplicação da FDMS para Inclusão de Medidas Fasoriais na EESP

Considerando a rede de fusão com arquitetura descentralizada:



a utilização de conceitos da FDMS para incluir medidas fasoriais na EESP baseia-se nas seguintes considerações:

- Os sistemas SCADA e SMFS são interpretados como sensores de uma rede de fusão;
- Os processos aos quais as observações são submetidas correspondem a estimadores de estados;
- Abordagem utilizada na célula de fusão: **fusão de estimativas.**

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E\left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T\right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E \left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T \right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E\left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T\right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E\left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T\right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E \left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T \right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_i, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_SN_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E \left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T \right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_i, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E \left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x})(\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T \right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Conjunto de N_S estimativas de um vetor de estados \mathbf{x} :

$$\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$$

- Erros de estimação: $\tilde{\mathbf{x}}_i = \hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}$;
- Matriz de covariância cruzada dos vetores $\tilde{\mathbf{x}}_i, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{N_S}$:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \cdots & \mathbf{P}_{1N_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{N_S1} & \cdots & \mathbf{P}_{N_S N_S} \end{bmatrix},$$

- Submatriz \mathbf{P}_{ij} definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{ij} &= \text{cov}\{\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{\mathbf{x}}_j\} \\ &= E \left[(\hat{\mathbf{x}}_i - \mathbf{x}) (\hat{\mathbf{x}}_j - \mathbf{x})^T \right], \quad i, j = 1, \dots, N_S. \end{aligned}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- A fusão das estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1, \dots, \hat{\mathbf{x}}_{N_S}$ é formulada como a seguinte combinação linear:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{W}_1^T \hat{\mathbf{x}}_1 + \dots + \mathbf{W}_{N_S}^T \hat{\mathbf{x}}_{N_S},$$

onde $\mathbf{W}_1, \dots, \mathbf{W}_{N_S}$ são **matrizes de ponderação**. Na forma matricial:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}}$$

onde $\hat{\mathbf{x}} = [\hat{\mathbf{x}}_1^T \dots \hat{\mathbf{x}}_{N_S}^T]^T$ e $\mathbf{W} = [\mathbf{W}_1^T \dots \mathbf{W}_{N_S}^T]^T$.

- **Objetivo:** encontrar as matrizes $\mathbf{W}_1, \dots, \mathbf{W}_{N_S}$ que resultem na “melhor” estimativa $\hat{\mathbf{x}}^*$, segundo algum critério estabelecido.

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Mostra-se que a matriz \mathbf{W} pode ser obtida resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$\min_{\mathbf{W}} E \left[(\mathbf{W}^T \mathbf{z} - \mathbf{x}) (\mathbf{W}^T \mathbf{z} - \mathbf{x})^T \right]$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^{N_S} \mathbf{W}_i = \mathbf{I}$$

- Adicionalmente, se \mathbf{P} for não-singular, o problema de otimização acima possui uma única solução em \mathbf{W} , dada por:

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Mostra-se que a matriz \mathbf{W} pode ser obtida resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$\min_{\mathbf{W}} E \left[\left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right) \left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right)^T \right]$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^{N_s} \mathbf{W}_i = \mathbf{I}$$

- Adicionalmente, se \mathbf{P} for não-singular, o problema de otimização acima possui uma única solução em \mathbf{W} , dada por:

$$\mathbf{W} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{A}^T \left(\mathbf{A} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{A}^T \right)^{-1}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Mostra-se que a matriz \mathbf{W} pode ser obtida resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$\min_{\mathbf{W}} E \left[\left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right) \left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right)^T \right]$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^{N_S} \mathbf{W}_i = \mathbf{I}$$

- Adicionalmente, se \mathbf{P} for não-singular, o problema de otimização acima possui uma única solução em \mathbf{W} , dada por:

$$\mathbf{W}_i = \left(\sum_{j=1}^{N_S} \mathbf{P}_{j|j}^{-1} \right) \left(\sum_{j=1}^{N_S} \mathbf{P}_{j|j}^{-1} \right)^{-1}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Mostra-se que a matriz \mathbf{W} pode ser obtida resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$\min_{\mathbf{W}} E \left[\left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right) \left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right)^T \right]$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^{N_S} \mathbf{W}_i = \mathbf{I}$$

- Adicionalmente, se \mathbf{P} for não-singular, o problema de otimização acima possui uma única solução em \mathbf{W} , dada por:

$$\mathbf{W}_i = \left(\sum_{k=1}^{N_S} \mathbf{P}_{ik}^{-1} \right) \left(\sum_{j,k=1}^{N_S} \mathbf{P}_{jk}^{-1} \right)^{-1}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- Mostra-se que a matriz \mathbf{W} pode ser obtida resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$\min_{\mathbf{W}} E \left[\left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right) \left(\mathbf{W}^T \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} \right)^T \right]$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^{N_S} \mathbf{W}_i = \mathbf{I}$$

- Adicionalmente, se \mathbf{P} for não-singular, o problema de otimização acima possui uma única solução em \mathbf{W} , dada por:

$$\mathbf{W}_i = \left(\sum_{k=1}^{N_S} \mathbf{P}_{ik}^{-1} \right) \left(\sum_{j,k=1}^{N_S} \mathbf{P}_{jk}^{-1} \right)^{-1}$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- No caso particular de dois sensores, ou seja, $N_S = 2$, a fórmula de fusão torna-se:

$$\hat{\mathbf{x}} = \frac{(\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21} - \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2}{(\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21} - \mathbf{P}_{22})^{-1} + (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})^{-1}}$$

conhecida como fórmula de fusão de *Dar-Stokan-Campo*.

- Se for considerado que as estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1$ e $\hat{\mathbf{x}}_2$ são não-correlacionadas, ou seja, $\mathbf{P}_{ij} = \mathbf{P}_{ji} = \mathbf{0}$, a fórmula de fusão torna-se

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- No caso particular de dois sensores, ou seja, $N_S = 2$, a fórmula de fusão torna-se:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + (\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2,$$

conhecida como *fórmula de fusão de Bar-Shalom-Campo*.

- Se for considerado que as estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1$ e $\hat{\mathbf{x}}_2$ são não-correlacionadas, ou seja, $\mathbf{P}_{ij} = \mathbf{P}_{ji} = \mathbf{0}$, a fórmula de fusão torna-se

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- No caso particular de dois sensores, ou seja, $N_S = 2$, a fórmula de fusão torna-se:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + (\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2,$$

conhecida como **fórmula de fusão de Bar-Shalom-Campo**.

- Se for considerado que as estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1$ e $\hat{\mathbf{x}}_2$ são não-correlacionadas, ou seja, $\mathbf{P}_{ij} = \mathbf{P}_{ji} = \mathbf{0}$, a fórmula de fusão torna-se

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_{22}(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + \mathbf{P}_{11}(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- No caso particular de dois sensores, ou seja, $N_S = 2$, a fórmula de fusão torna-se:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + (\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2,$$

conhecida como *fórmula de fusão de Bar-Shalom-Campo*.

- Se for considerado que as estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1$ e $\hat{\mathbf{x}}_2$ são não-correlacionadas, ou seja, $\mathbf{P}_{ij} = \mathbf{P}_{ji} = \mathbf{0}$, a fórmula de fusão torna-se

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_{22} (\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + \mathbf{P}_{11} (\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2$$

Fusão de Estimativas

Formulação Matemática

- No caso particular de dois sensores, ou seja, $N_S = 2$, a fórmula de fusão torna-se:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{21})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + (\mathbf{P}_{11} - \mathbf{P}_{12})(\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22} - \mathbf{P}_{12} - \mathbf{P}_{21})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2,$$

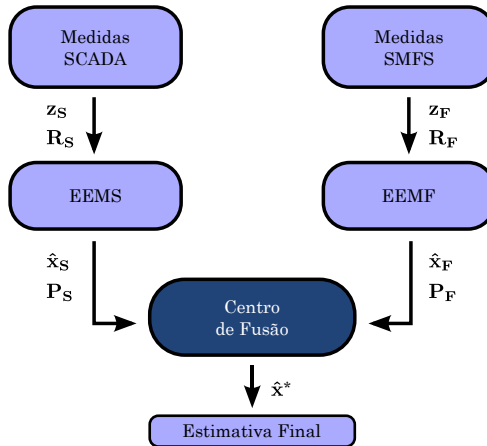
conhecida como *fórmula de fusão de Bar-Shalom-Campo*.

- Se for considerado que as estimativas $\hat{\mathbf{x}}_1$ e $\hat{\mathbf{x}}_2$ são não-correlacionadas, ou seja, $\mathbf{P}_{ij} = \mathbf{P}_{ji} = \mathbf{0}$, a fórmula de fusão torna-se

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_{22} (\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_1 + \mathbf{P}_{11} (\mathbf{P}_{11} + \mathbf{P}_{22})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_2$$

Fusão de Estimativas

Arquitetura do Estimador Baseado na Fusão de Estimativas



Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\mathbf{P}_S = \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{P}_S^{-1} + \mathbf{G}_S^{-1})^{-1} \quad \mathbf{P}_F = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{P}_F^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1}$$

- Necessário cálculo das inversas:
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\mathbf{P} = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
 - Das matrizes de ganho ($n \times n$)
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
 - Das matrizes de ganho ($n \times n$)
 - Da soma das matrizes de ganho ($n \times n$)
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
 - Das matrizes de ganho ($n \times n$)
 - Da soma das matrizes de ganho ($n \times n$)
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
 - Das matrizes de ganho ($n \times n$)
 - Da soma das matrizes de ganho ($n \times n$)
- Alto custo computacional envolvido nas operações de inversão de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Reescrevendo a fórmula de fusão de *Bar-Shalom-Campo* com $\mathbf{S} \Rightarrow$ SCADA e $\mathbf{F} \Rightarrow$ grandezas fasoriais:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{P}_F (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{P}_S (\mathbf{P}_S + \mathbf{P}_F)^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Matrizes \mathbf{P}_S e $\mathbf{P}_F \Rightarrow$ calculadas a partir da inversa das matrizes de ganho \mathbf{G}_S e \mathbf{G}_F , ou seja:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_F^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_S^{-1} (\mathbf{G}_S^{-1} + \mathbf{G}_F^{-1})^{-1} \hat{\mathbf{x}}_F$$

- Necessário cálculo das inversas:
 - Das matrizes de ganho ($n \times n$)
 - Da soma das matrizes de ganho ($n \times n$)
- **Alto custo computacional** envolvido nas operações de **inversão** de matrizes.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:
- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$
- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$

- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$

- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$

- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$

- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato **$\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$** ;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Fusão de Estimativas

Aspectos Computacionais

- Forma alternativa proposta:

$$\hat{\mathbf{x}}^* = (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + (\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F)^{-1} \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F.$$

- As duas formas da equação de fusão são **equivalentes**
- Esta última forma pode ser reescrita como:

$$(\mathbf{G}_S + \mathbf{G}_F) \hat{\mathbf{x}}^* = \mathbf{G}_S \hat{\mathbf{x}}_S + \mathbf{G}_F \hat{\mathbf{x}}_F$$

- A equação de fusão torna-se um sistema de equações lineares no formato $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$;
- A solução é obtida a partir de métodos eficientes e bem consolidados.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - Métrica de tensão complexa:

Medida e análise pontuais das variáveis de magnitude e ângulo de tensão nodal.

- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - Métrica de tensão complexa:

$$Max_{\theta} = \|V^{err}\|_2 = \left(\sum_i |V_i^{err}|^2 \right)^{1/2}$$

- Média e desvio padrão dos erros de magnitude e ângulo da tensão nodal.
- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - **Métrica de tensão complexa:**

$$Macc_v = \left\| \dot{V}^{erro} \right\|_2 = \left(\sum_j |\dot{V}_j^{verd} - \dot{V}_j^{est}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

- **Média e desvio padrão** dos erros de magnitude e ângulo da tensão nodal.
- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - **Métrica de tensão complexa:**

$$Macc_v = \left\| \dot{V}^{erro} \right\|_2 = \left(\sum_j \left| \dot{V}_j^{verd} - \dot{V}_j^{est} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Média e desvio padrão dos erros de magnitude e ângulo da tensão nodal.
- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - **Métrica de tensão complexa:**

$$Macc_v = \left\| \dot{V}^{erro} \right\|_2 = \left(\sum_j \left| \dot{V}_j^{verd} - \dot{V}_j^{est} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

- **Média e desvio padrão** dos erros de magnitude e ângulo da tensão nodal.
- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - I

- Sistemas-teste: IEEE 14, 57 e 118 barras
- Três indicadores de desempenho são utilizados
 - **Métrica de tensão complexa:**

$$Macc_v = \left\| \dot{V}^{erro} \right\|_2 = \left(\sum_j \left| \dot{V}_j^{verd} - \dot{V}_j^{est} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

- **Média e desvio padrão** dos erros de magnitude e ângulo da tensão nodal.
- Precisão adotada de 1% para medidas SCADA e 0,1% para medidas fasoriais.

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEM5)

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS);
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS); ← Referência
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS); ← Referência
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS); ← Referência
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS); ← Referência
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

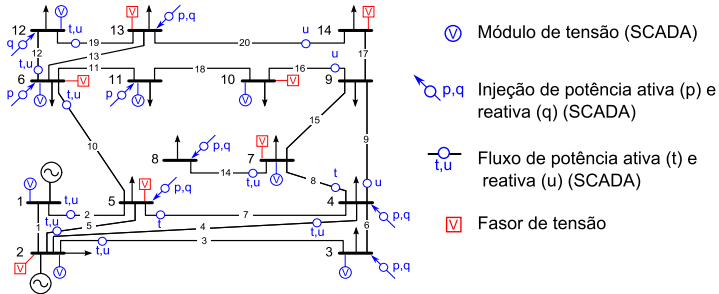
Simulações e Resultados

Considerações sobre as simulações - II

- Para cada caso são executados 100 simulações;
- Rede não observável com medidas fasoriais (estratégia de fusão de estimativas): informações *a priori* com valor $1\angle 0^\circ$ para **todos** os estados;
- Algoritmos desenvolvidos utilizando linguagem FORTRAN.
- Estimadores considerados:
 - Estimador SCADA convencional (EEMS); \Leftarrow **Referência**
 - Estimador baseado **apenas** em medidas fasoriais (EEMF);
 - Estimador APSI;
 - Estimador baseado na fusão de estimativas (FUSÃO).

Resultado para a rede de 14 barras

Plano de Medição

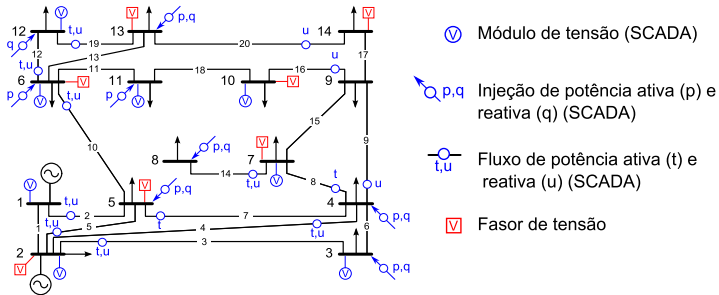


- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:

- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

Plano de Medição



- Sistema **observável** com medidas SCADA;

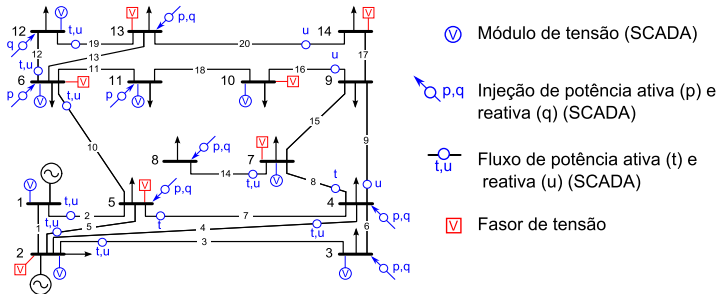
- Casos estudados:

● Caso A: Medidas fasoriais em todas as barras;

- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

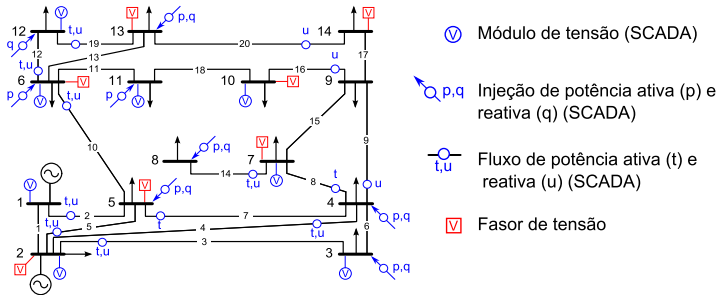
Plano de Medição



- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:
 - Caso A: Medidas fasoriais em **todas** as barras;
 - Caso B: Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
 - Caso C: Erro grosseiro em medidas SCADA.
- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

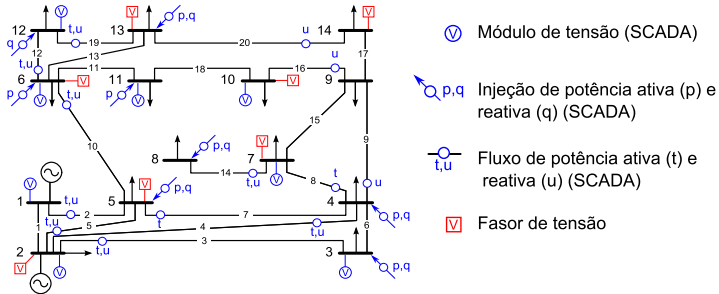
Plano de Medição



- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:
 - Caso A: Medidas fasoriais em **todas** as barras;
 - Caso B: Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
 - Caso C: Erro grosseiro em medidas SCADA.
- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

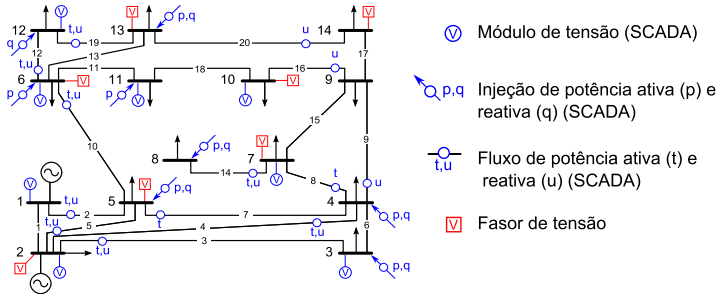
Plano de Medição



- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:
 - Caso A: Medidas fasoriais em **todas** as barras;
 - Caso B: Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
 - Caso C: Erro grosseiro em medidas SCADA.
- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

Plano de Medição

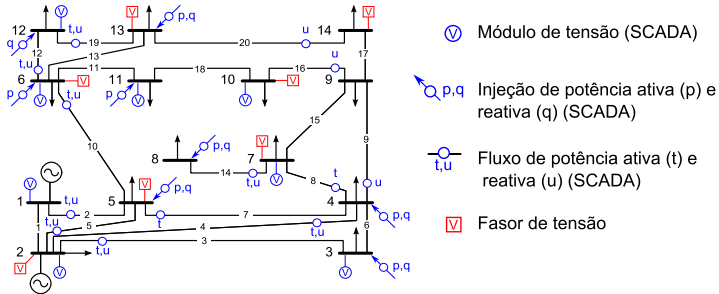


- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:
 - Caso A: Medidas fasoriais em **todas** as barras;
 - Caso B: Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
 - Caso C: Erro grosseiro em medidas SCADA.

● Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

Plano de Medição



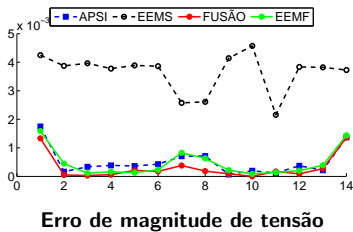
- Sistema **observável** com medidas SCADA;
- Casos estudados:
 - Caso A: Medidas fasoriais em **todas** as barras;
 - Caso B: Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
 - Caso C: Erro grosseiro em medidas SCADA.
- Não são utilizadas medidas de corrente.

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

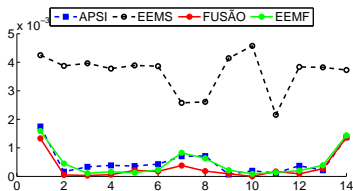
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

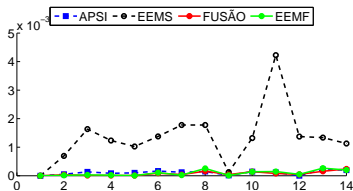
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

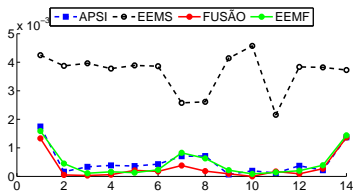
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

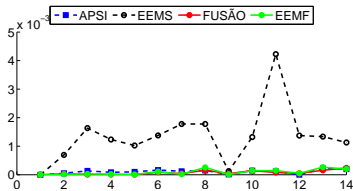
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

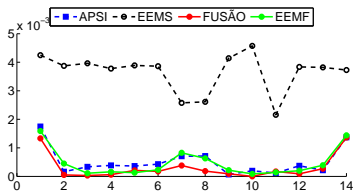
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

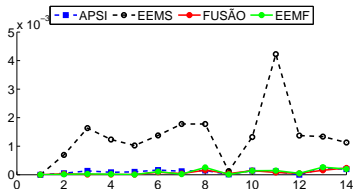
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

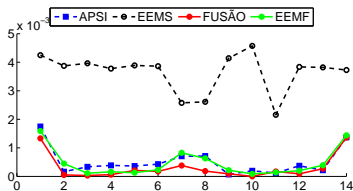
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

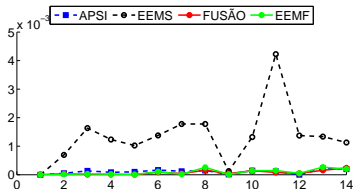
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

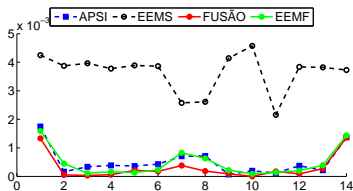
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

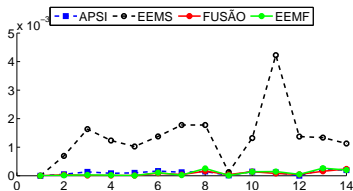
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

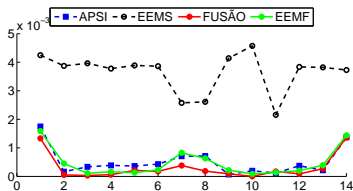
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

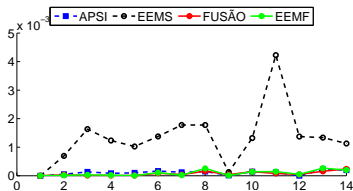
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

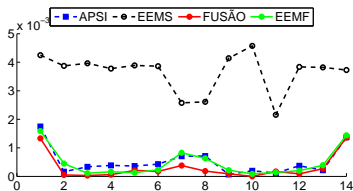
Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

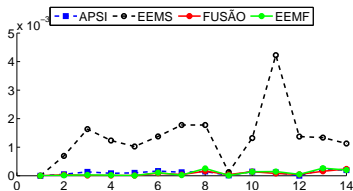
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso A - Medidas fasoriais em todas as barras



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Estimador EEMS (SCADA):

- Erros predominantes sobre os demais;

Estimadores FUSÃO e APSI:

- Boa aderência às medidas fasoriais;
- Capacidade de se beneficiar tanto de medidas convencionais como fasoriais;

Métrica de Tensão	
EEMS	1.1203e-002
EEMF	2.1937e-003
APSI	2.2489e-003
FUSÃO	1.6384e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto aos estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais:

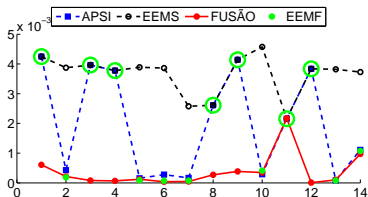
• 10 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais

• 10 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais

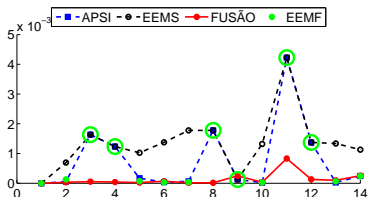
• 10 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados observáveis com respeito às medidas fasoriais
 • 4 estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais

Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Quanto aos estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais:

As únicas informações disponíveis a respeito destes estados são as provenientes do sistema SCADA.

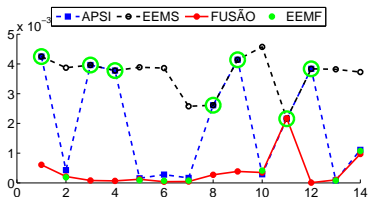
- Estimador APSI: Os erros, e portanto os estados estimados, são iguais aos do estimador EEMS (SCADA).
- Estimador FUSÃO: Significativa melhoria em relação ao estimador EEMS, mesmo para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais.

Resultado para a rede de 14 barras

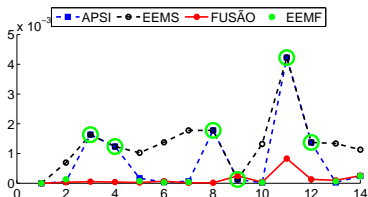
Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto aos estados **não-observáveis** com respeito às medidas fasoriais:

As únicas informações disponíveis a respeito destes estados são as provenientes do sistema SCADA.



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

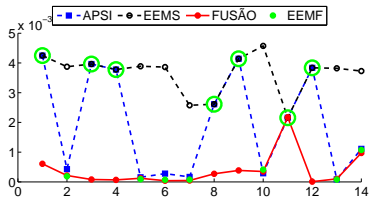
- **Estimador APSI:** Os **erros**, e portanto os **estados** estimados, são iguais aos do estimador EEMS (SCADA).
- **Estimador FUSÃO:** Significativa melhoria em relação ao estimador EEMS, **mesmo para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais.**

Resultado para a rede de 14 barras

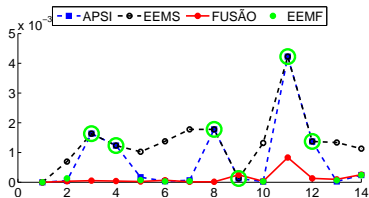
Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto aos estados **não-observáveis** com respeito às medidas fasoriais:

As únicas informações disponíveis a respeito destes estados são as provenientes do sistema SCADA.



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

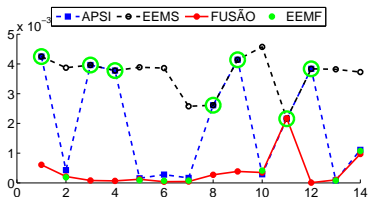
- **Estimador APSI:** Os **erros**, e portanto os **estados** estimados, são iguais aos do estimador EEMS (SCADA).
- **Estimador FUSÃO:** Significativa melhoria em relação ao estimador EEMS, **mesmo para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais.**

Resultado para a rede de 14 barras

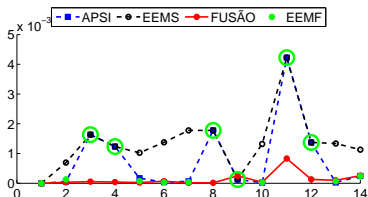
Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto aos estados **não-observáveis** com respeito às medidas fasoriais:

As únicas informações disponíveis a respeito destes estados são as provenientes do sistema SCADA.



Erro de magnitude de tensão

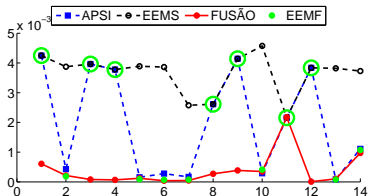


Erro de ângulo de tensão

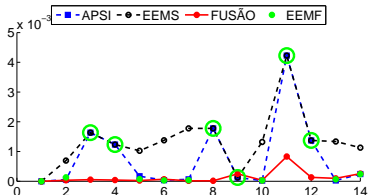
- **Estimador APSI:** Os **erros**, e portanto os **estados** estimados, são iguais aos do estimador EEMS (SCADA).
- **Estimador FUSÃO:** Significativa melhoria em relação ao estimador EEMS, **mesmo para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais.**

Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Quanto aos estados **não-observáveis** com respeito às medidas fasoriais:

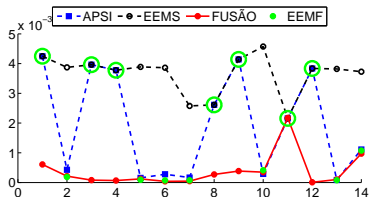
As únicas informações disponíveis a respeito destes estados são as provenientes do sistema SCADA.

- **Estimador APSI:** Os **erros**, e portanto os **estados** estimados, são iguais aos do estimador EEMS (SCADA).
- **Estimador FUSÃO:** Significativa melhoria em relação ao estimador EEMS, **mesmo para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais.**

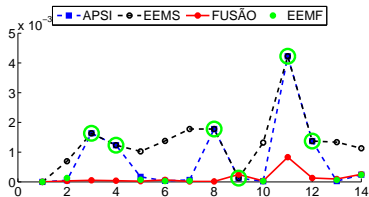
Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto às métricas de tensão:



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

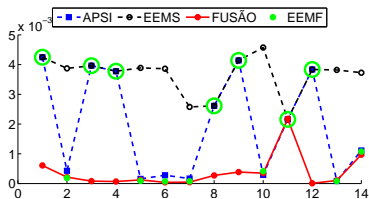
Métrica	APSI	EEMS	FUSÃO	EEMF
Erro de magnitude de tensão	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Erro de ângulo de tensão	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Erro de magnitude de tensão	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Erro de ângulo de tensão	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Os resultados do estimador EEMF foram extremamente deteriorados.

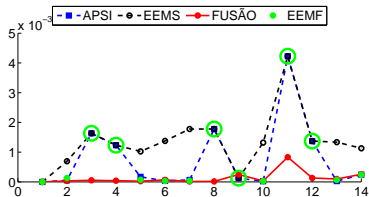
Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto às métricas de tensão:



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

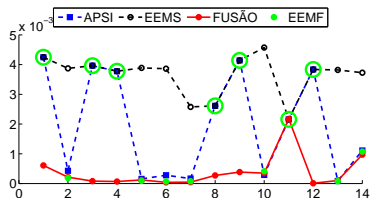
Métrica de Tensão	
EEMS	1.2369e-002
EEMF	6.0552e-001
APSI	9.2511e-003
FUSÃO	3.9788e-003

- Resultados do estimador EEMF fortemente deteriorados;
- Estimadores FUSÃO e APSI: capacidade de “selecionar” os dados de melhor qualidade;
- Métrica do estimador APSI: embora mais elevada em relação à do estimador FUSÃO, é aproximadamente 25% inferior à do estimador EEMS.

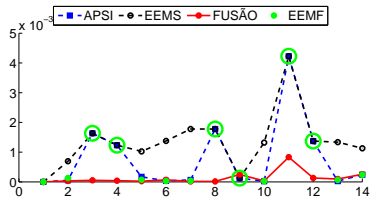
Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto às métricas de tensão:



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

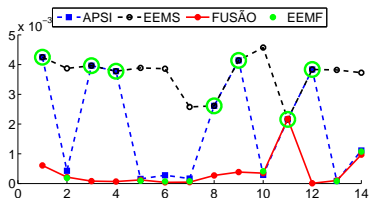
Métrica de Tensão	
EEMS	1.2369e-002
EEMF	6.0552e-001
APSI	9.2511e-003
FUSÃO	3.9788e-003

- Resultados do estimador EEMF fortemente deteriorados;
- Estimadores FUSÃO e APSI: capacidade de “selecionar” os dados de melhor qualidade;
- Métrica do estimador APSI: embora mais elevada em relação à do estimador FUSÃO, é aproximadamente 25% inferior à do estimador EEMS.

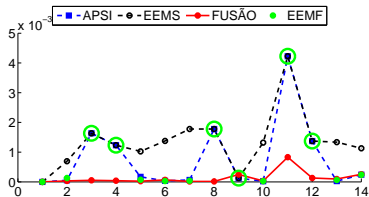
Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto às métricas de tensão:



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

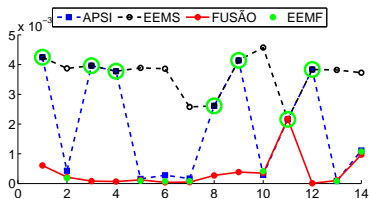
Métrica de Tensão	
EEMS	1.2369e-002
EEMF	6.0552e-001
APSI	9.2511e-003
FUSÃO	3.9788e-003

- Resultados do estimador EEMF fortemente deteriorados;
- Estimadores FUSÃO e APSI: capacidade de “selecionar” os dados de melhor qualidade;
- Métrica do estimador APSI: embora mais elevada em relação à do estimador FUSÃO, é aproximadamente 25% inferior à do estimador EEMS.

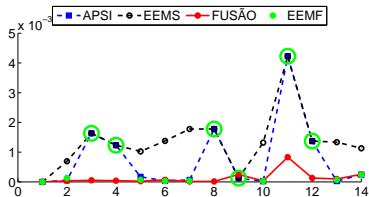
Resultado para a rede de 14 barras

Caso B - Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais

Quanto às métricas de tensão:



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

Métrica de Tensão	
EEMS	1.2369e-002
EEMF	6.0552e-001
APSI	9.2511e-003
FUSÃO	3.9788e-003

- Resultados do estimador EEMF fortemente deteriorados;
- Estimadores FUSÃO e APSI: capacidade de “selecionar” os dados de melhor qualidade;
- Métrica do estimador APSI: embora mais elevada em relação à do estimador FUSÃO, é aproximadamente 25% inferior à do estimador EEMS.

Resultado para a rede de 14 barras

Caso C - Erro grosseiro em medidas SCADA

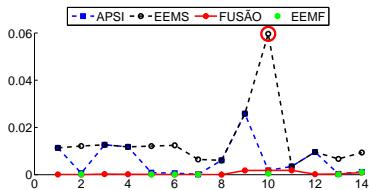
- Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA);

• Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA) não é detectado pelo método de observabilidade baseado em medidas fasoriais.

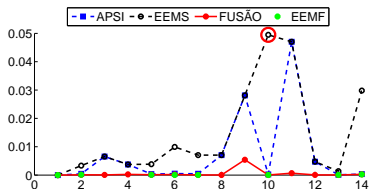
• Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA) não é detectado pelo método de observabilidade baseado em medidas fasoriais.

Resultado para a rede de 14 barras

Caso C - Erro grosseiro em medidas SCADA



Erro de magnitude de tensão



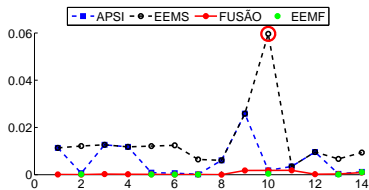
Erro de ângulo de tensão

- Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA);
- Estimadores FUSÃO e APSI: pouca influência da medida portadora de EG.

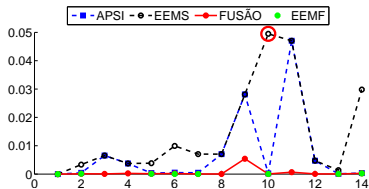
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1164e-001
EEMF	6.0552e-001
APSI	6.8302e-002
FUSÃO	7.3014e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso C - Erro grosseiro em medidas SCADA



Erro de magnitude de tensão



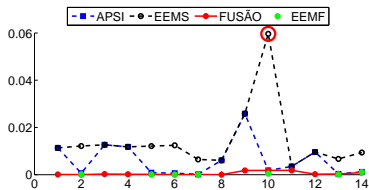
Erro de ângulo de tensão

- Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA);
- Estimadores FUSÃO e APSI: pouca influência da medida portadora de EG.

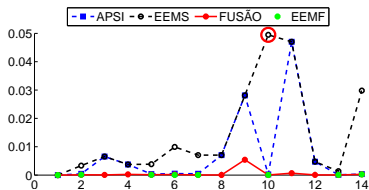
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1164e-001
EEMF	6.0552e-001
APSI	6.8302e-002
FUSÃO	7.3014e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso C - Erro grosseiro em medidas SCADA



Erro de magnitude de tensão



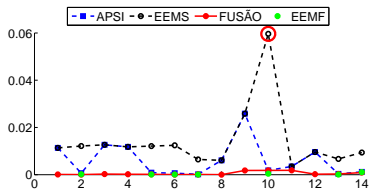
Erro de ângulo de tensão

- Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA);
- Estimadores FUSÃO e APSI: pouca influência da medida portadora de EG.

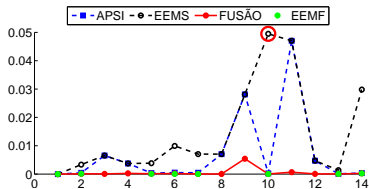
Métrica de Tensão	
EEMS	1.1164e-001
EEMF	6.0552e-001
APSI	6.8302e-002
FUSÃO	7.3014e-003

Resultado para a rede de 14 barras

Caso C - Erro grosseiro em medidas SCADA



Erro de magnitude de tensão



Erro de ângulo de tensão

- Rede não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Erro grosseiro na medida $|V_{10}|$ (SCADA);
- Estimadores FUSÃO e APSI: pouca influência da medida portadora de EG.

Métrica de Tensão	
EEMS	1.1164e-001
EEMF	6.0552e-001
APSI	6.8302e-002
FUSÃO	7.3014e-003

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
 - Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{S_{ii}}$;
 - Para investigar melhor esta situação:
-
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
 - **Conclusão:** as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{S_{ii}}$;
- Para investigar melhor esta situação:

- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão:** as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{S_{ii}}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considera no estimador APSI toda a matriz P_{ij} inválida;
 - $P_{ij} = 0$ para $i \neq j$;
 - $P_{ii} = 1/P_{S_{ii}}$;
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão:** as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{Sii}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considerar no estimador APSI toda a matriz \mathbf{P}_S : **inviável via G3M**;
 - **Alternativa**: utilizar no estimador FUSÃO a aproximação $\mathbf{P}'_S = \text{diag}(\mathbf{P}_S)$.
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão**: as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{S_{ii}}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considerar no estimador APSI toda a matriz \mathbf{P}_S : **inviável via G3M**;
 - **Alternativa**: utilizar no estimador FUSÃO a aproximação $\mathbf{P}'_S = \text{diag}(\mathbf{P}_S)$.
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão**: as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{Sii}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considerar no estimador APSI toda a matriz \mathbf{P}_S : **inviável via G3M**;
 - **Alternativa**: utilizar no estimador FUSÃO a aproximação $\mathbf{P}'_S = \text{diag}(\mathbf{P}_S)$.
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão**: as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{S_{ii}}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considerar no estimador APSI toda a matriz \mathbf{P}_S : **inviável via G3M**;
 - **Alternativa**: utilizar no estimador FUSÃO a aproximação $\mathbf{P}'_S = \text{diag}(\mathbf{P}_S)$.
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão**: as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Diferenças nos resultados dos estimadores APSI e FUSÃO

- Processam o mesmo conjunto de medidas;
- Causa provável: aproximação considerada no estimador APSI ao definir $d_i = 1/P_{Sii}$;
- Para investigar melhor esta situação:
 - Considerar no estimador APSI toda a matriz \mathbf{P}_S : **inviável via G3M**;
 - **Alternativa**: utilizar no estimador FUSÃO a aproximação $\mathbf{P}'_S = \text{diag}(\mathbf{P}_S)$.
- Obtidos resultados iguais para os dois estimadores;
- **Conclusão**: as diferenças devem-se, basicamente, à aproximação considerada no estimador APSI.

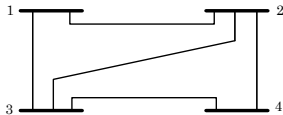
Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.

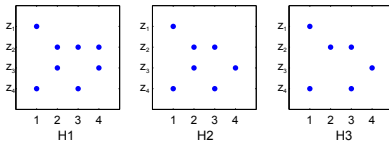
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
 - Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

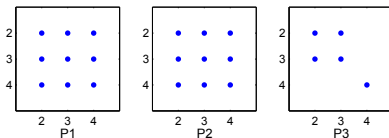
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

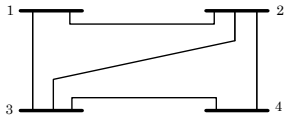


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

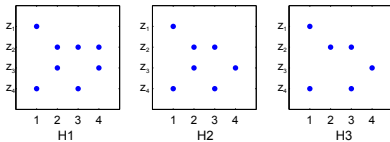
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
 - Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

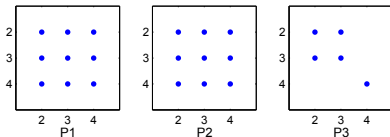
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

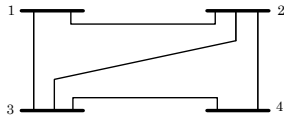


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

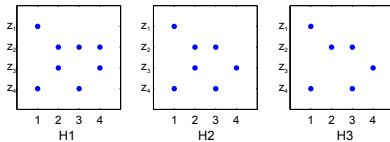
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
 - Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

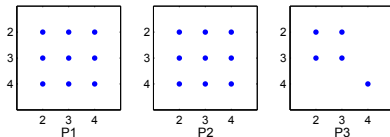
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

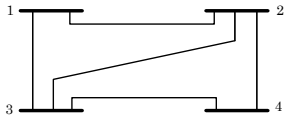


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

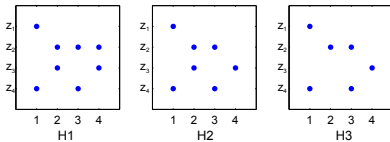
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - ✦ Criticidade
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

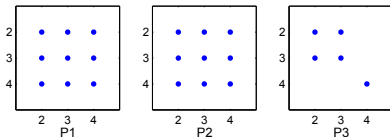
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

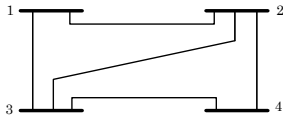


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

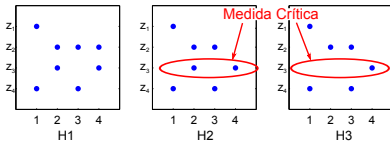
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Criticidade
 - Caracterização
 - Correlação
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

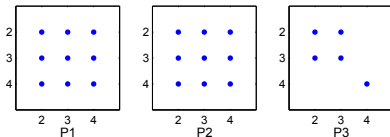
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

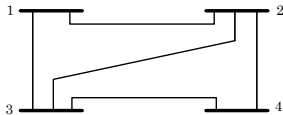


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

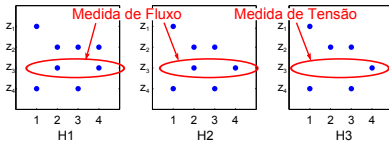
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - **Criticidade**
 - Caracterização
 - Correlação
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

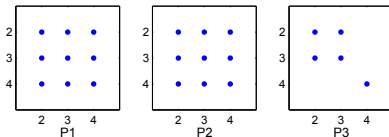
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

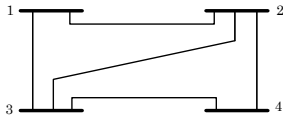


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

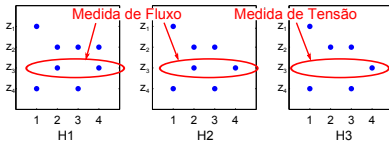
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Criticidade
 - **Caracterização**
 - Correlação
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

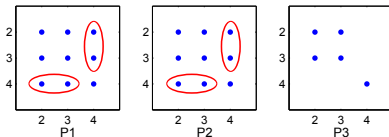
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

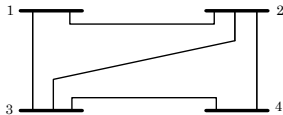


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

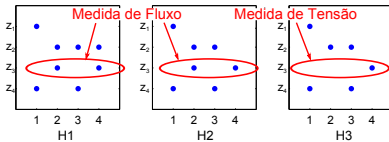
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Criticidade
 - Caracterização
 - **Correlação**
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

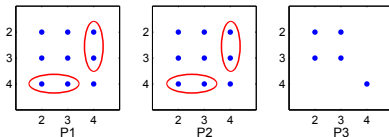
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas

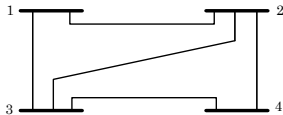


Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

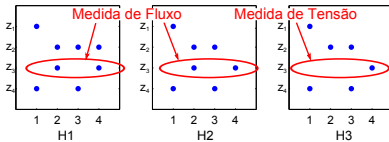
- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Criticidade
 - Caracterização
 - Correlação
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

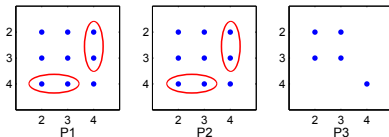
Sobre os estados não-observáveis com medidas fasoriais.



Rede Elétrica de Exemplo



Matrizes Jacobianas



Mat. de Cov. dos Erros de Estimação

- Modelo linear: 3 estados
- 3 planos de medição disponíveis
- Medidas: z_1, \dots, z_4
- Particularidades da medida z_3 :
 - Criticidade
 - Caracterização
 - Correlação
- Em H1 e H2, a qualidade da estimativa 4 é influenciada pelas estimativas 2 e 3
- Em H3 a qualidade da estimativa 4 depende apenas de z_3

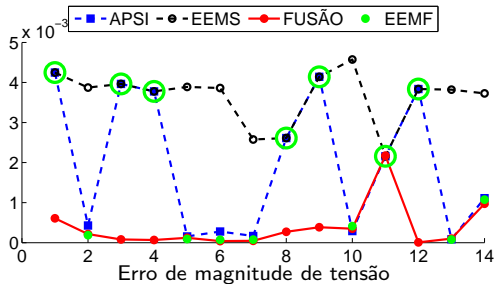
Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.

- **Estimador FUSÃO:** P_S é considerada integralmente e os elementos fora da diagonal de P_S são considerados conhecidos.
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de P_S

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

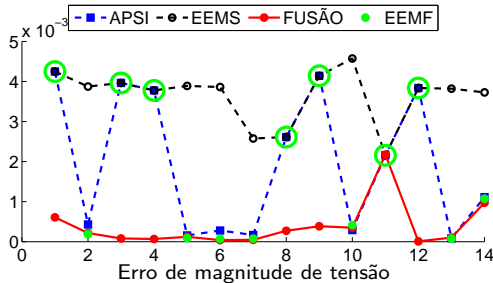
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- Estimador FUSÃO: P_5 é considerada integralmente
- Estimador APSI: considerada apenas a diagonal de P_5

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

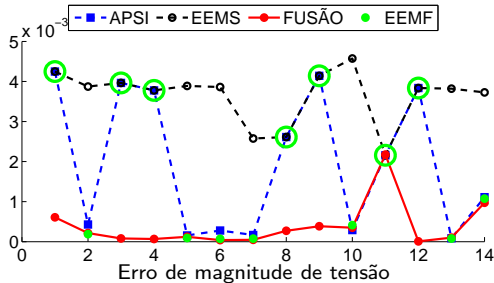
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** P_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). *Caso particular:* Estado V_{11}
- Estimador APSI: considerada apenas a diagonal de P_S

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

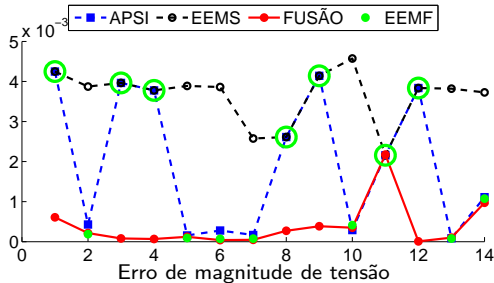
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** P_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). **Caso particular:** Estado V_{11}
- Estimador APSI: considerada apenas a diagonal de P_S

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

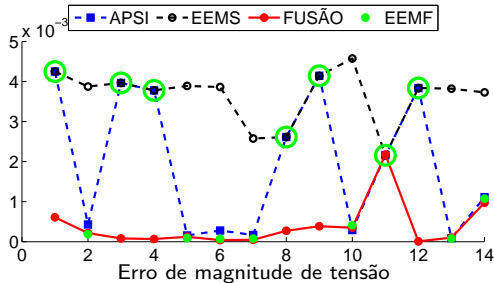
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** P_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). *Caso particular:* Estado V_{11}
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de P_S

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

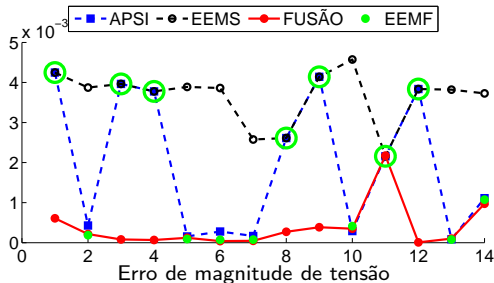
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** P_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). **Caso particular:** Estado V_{11}
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de $P_S \Rightarrow$

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

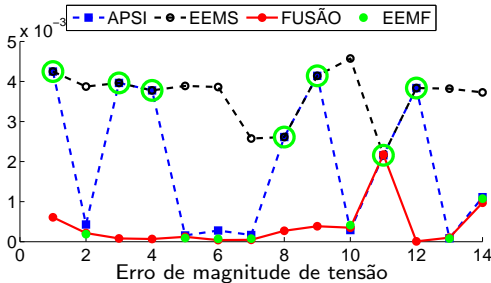
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** \mathbf{P}_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). **Caso particular:** Estado V_{11}
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de $\mathbf{P}_S \Rightarrow$ descartadas as informações de correlação entre os erros dos estados.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

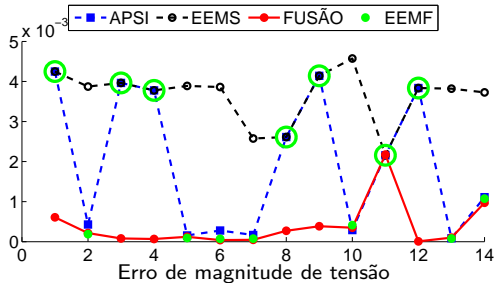
Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** \mathbf{P}_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). **Caso particular:** Estado V_{11}
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de $\mathbf{P}_S \Rightarrow$ descartadas as informações de correlação entre os erros dos estados.

Pontos Notáveis nos Resultados com a Rede de 14 barras

Sobre as estimativas dos estados não contemplados com medidas fasoriais.



- **Estimador FUSÃO:** \mathbf{P}_S é considerada integralmente \Rightarrow são preservadas as informações de correlação entre os erros dos estados (SCADA). **Caso particular:** Estado V_{11}
- **Estimador APSI:** considerada apenas a diagonal de $\mathbf{P}_S \Rightarrow$ descartadas as informações de correlação entre os erros dos estados.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Resultado para as redes de 57 e 118 barras

Medida	Número de medidas consideradas			
	IEEE 57-barras		IEEE 118-barras	
	EEMS	EEMF	EEMS	EEMF
$ V_i $	36	0	67	0
P	39	0	72	0
Q	39	0	72	0
t_{ij}	54	0	116	0
u_{ij}	54	0	116	0
$ I_{ij} $	40	0	45	0
V_i	0	30	0	64
I_{ij}	0	21	0	65
ρ	2.32	0.45	2.08	0.55

	Métrica de Tensão	
	IEEE 57-barras	IEEE 118-barras
EEMS	4.9146e-003	7.1457e-003
EEMF	9.4954e-001	1.0399e+000
APSI	3.3367e-003	4.2866e-003
FUSÃO	1.4024e-003	1.4261e-003

- Rede elétrica não-observável com respeito às medidas fasoriais;
- Aumento significativo da qualidade dos resultados em relação ao estimador EEMS;
- Ganhos proporcionados com as estratégias propostas são comparáveis aos obtidos com o sistema de 14 barras;
- Desempenho do estimador APSI: pequena sensibilidade à dimensão da rede, embora não prejudique a aplicabilidade do método.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

- Proposição de dois novos métodos para incorporar medidas fasoriais na EESP:
 - **Estimador APSI:** Estimativas baseadas em medidas do sistema SCADA consideradas como informações *a priori* em um segundo estimador, baseado em medidas fasoriais.
 - **Estimador Baseado na Fusão de Estimativas:** Realiza a fusão de resultados fornecidos por estimadores distintos baseados em medidas convencionais e fasoriais.
- Quanto aos estimadores desenvolvidos:
 - Não interferem nos estimadores existentes;
 - Não requerem observabilidade com respeito às medidas fasoriais.

Conclusões

Resultados Obtidos

- Significativa melhoria em relação aos estimadores apenas com medidas SCADA;
- Estimativas APSI coincidentes com as baseadas no SCADA;
- Estimador baseado na fusão: fornece ganho de qualidade inclusive para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais;
- Capacidade de “filtrar” dados espúrios;
- Aplicabilidade a sistemas de grande porte.

Conclusões

Resultados Obtidos

- Significativa melhoria em relação aos estimadores apenas com medidas SCADA;
- Estimativas APSI coincidentes com as baseadas no SCADA;
- Estimador baseado na fusão: fornece ganho de qualidade inclusive para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais;
- Capacidade de “filtrar” dados espúrios;
- Aplicabilidade a sistemas de grande porte.

Conclusões

Resultados Obtidos

- Significativa melhoria em relação aos estimadores apenas com medidas SCADA;
- Estimativas APSI coincidentes com as baseadas no SCADA;
- Estimador baseado na fusão: fornece ganho de qualidade inclusive para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais;
- Capacidade de “filtrar” dados espúrios;
- Aplicabilidade a sistemas de grande porte.

Conclusões

Resultados Obtidos

- Significativa melhoria em relação aos estimadores apenas com medidas SCADA;
- Estimativas APSI coincidentes com as baseadas no SCADA;
- Estimador baseado na fusão: fornece ganho de qualidade inclusive para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais;
- Capacidade de “filtrar” dados espúrios;
- Aplicabilidade a sistemas de grande porte.

Conclusões

Resultados Obtidos

- Significativa melhoria em relação aos estimadores apenas com medidas SCADA;
- Estimativas APSI coincidentes com as baseadas no SCADA;
- Estimador baseado na fusão: fornece ganho de qualidade inclusive para os estados não-observáveis com respeito às medidas fasoriais;
- Capacidade de “filtrar” dados espúrios;
- Aplicabilidade a sistemas de grande porte.