



7<sup>th</sup> FRAM Workshop  
11-13<sup>th</sup> September - Munich  
HENRI F. VON BUREN

ACCIDENT ANALYSIS INVOLVING MOBILE CRANES:  
THE FRAM ALTERNATIVE

# What is the plan?

Using a case study of a mobile crane overturning accident for the validation of the functional resonance analysis method - FRAM for use in industrial accidents analysis and investigations.

# The trigger

**Dia 09/02/2009**

**Hora: 16:30**

# The scope: mobile crane overturning accidents



# Types of Cranes Involved: Mobile Cranes

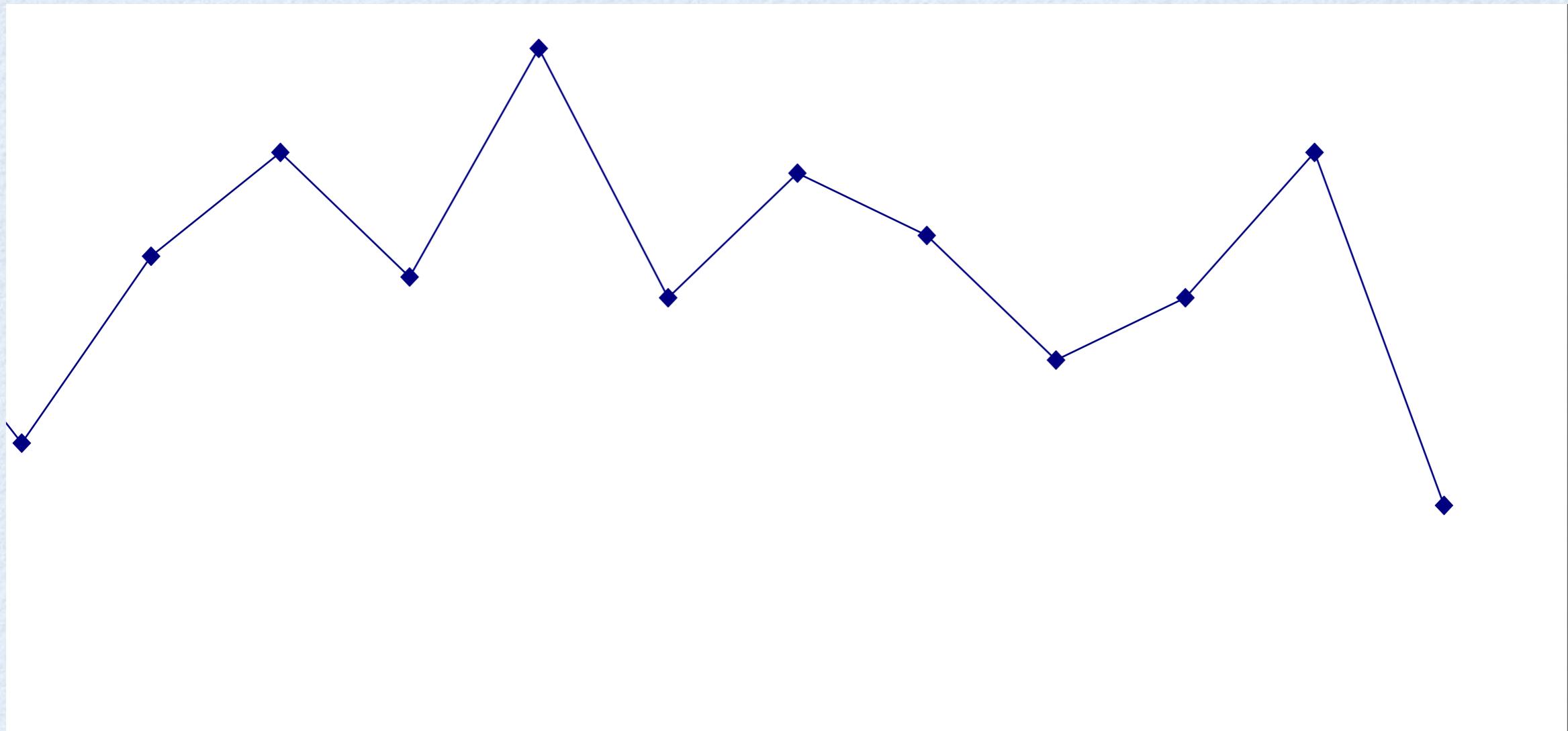
At least 71% of all crane-related incidents involved mobile cranes

Mobile cranes were involved in:

- 80 of 95 (84%) of overhead power line incidents
- 37 of 59 (63%) of crane collapses
- 35 of 59 (60%) of struck by boom/jib incidents

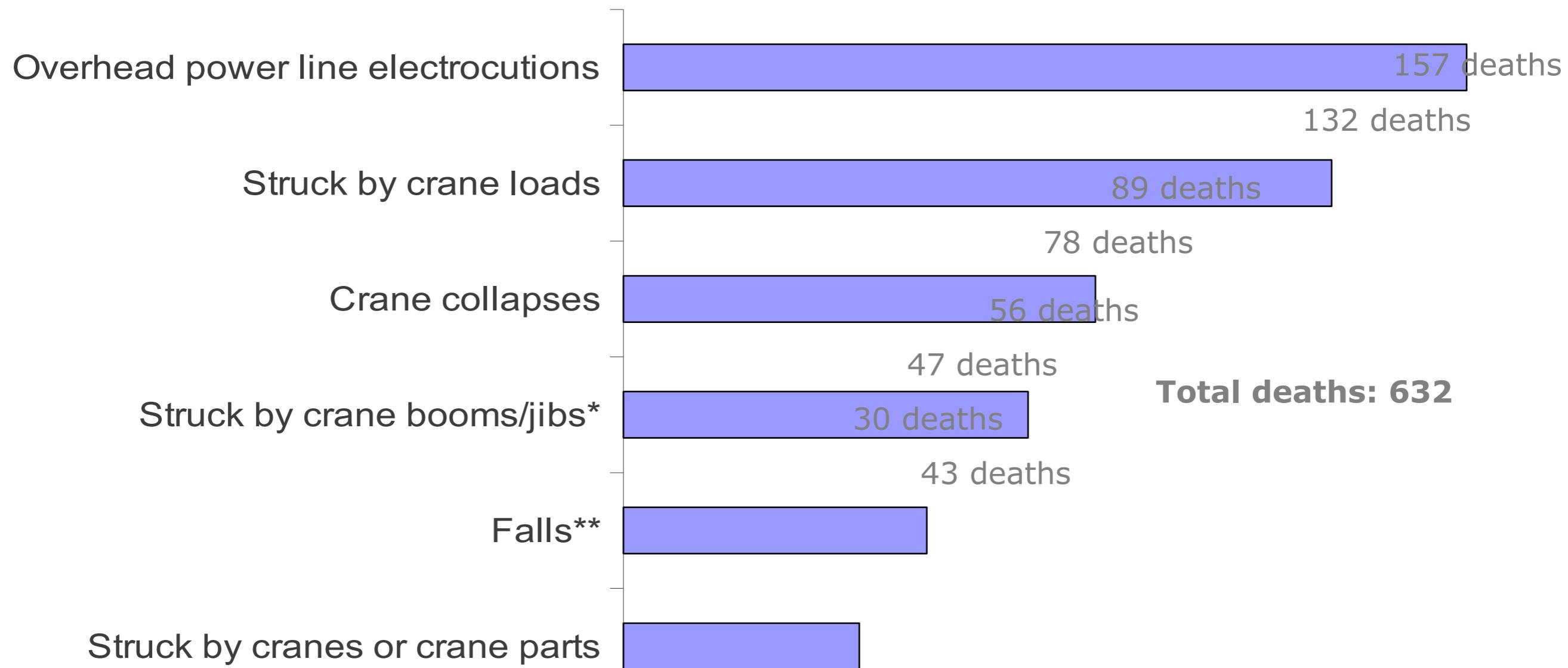


# Crane-Related Deaths in Construction by Year, 1992-2006



*Source: U.S. Bureau of Labor Statistics Census of Fatal Occupational Injuries Research File*

# Causes of Crane-Related Deaths in Construction, 1992-2006



\* Included 64 struck by falling booms/jibs

\*\* Included 21 falls from cranes, 9 falls from crane baskets, 8 from crane loads.

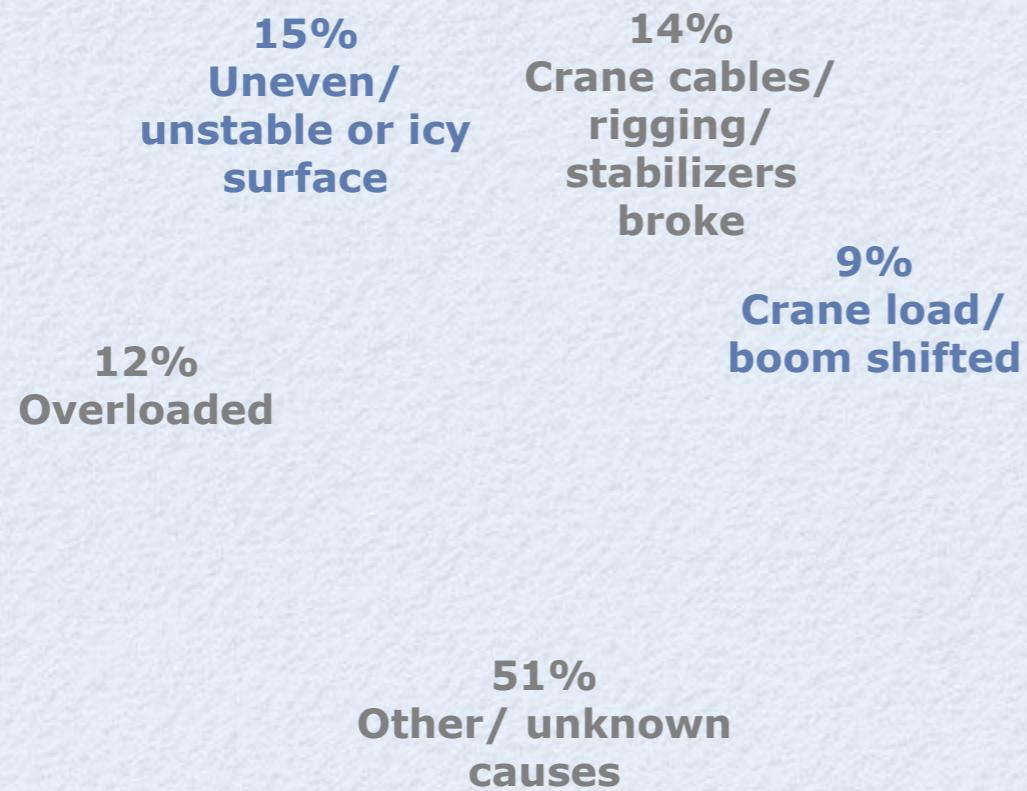
\*\*\*Other causes included 9 highway incidents.

Source: U.S. Bureau of Labor Statistics Census of Fatal Occupational Injuries Research File

# Main Causes of Worker Deaths, by Frequency

- Electrocutions – from overhead power lines
- Struck by crane load
- Crane collapse
- Struck by falling boom/jib

# Why Workers Died: Crane Collapses



1992 - 2006

Number of Collapses: 81

Number of Deaths: 89

Source: U.S. Bureau of Labor Statistics  
Census of Fatal Occupational  
Injuries Research File

# Dominant scenarios - Netherlands (Swuste, 2006)

- Which accident scenarios occur during mobile crane activities?
- Which scenarios are dominant?

# Results, literature (Studies)

<b>Häkkinen ea., 1978, 1993</b>	<b>Butler, 1978</b>	<b>Suruda ea., 1997; Sheperd ea., 2000</b>
1. Load instability	1. Mechanical problem	1. Overhead wiring
2. Rigging the load	2. Crane instability	2. Load instability
3. Hoisting persons	3. Jib instability	3. Jib instability
4. Assembling and dismantlement	4. Structural problems	4. Hoisting persons
5. Crane instability		5. Crane instability
6. Accessibility		6. Assembling and dismantlement
7. Jib instability		7. Accessibility
		8. Person in crane reach

# Results, expert meetings (NL)

Ranking: Activity,	Central event
crane instability,	1 <b>Positioning, outriggers</b>
Load instability	2 Assembling 3 Misleading signals 4 overloading 5 Wrong plans, equipment 6 Crane failure 7 Exceeding limits 8 Overloading 9 Movement with hanging load 10 Simultaneously hoisting 11 Swinging load
Jib instability	12 Overloading 13 Load hits boom 14 Breaking cables
Sweep area not respected	15 Excavator, remote control

# ACCIDENT MODELS



An unique model?

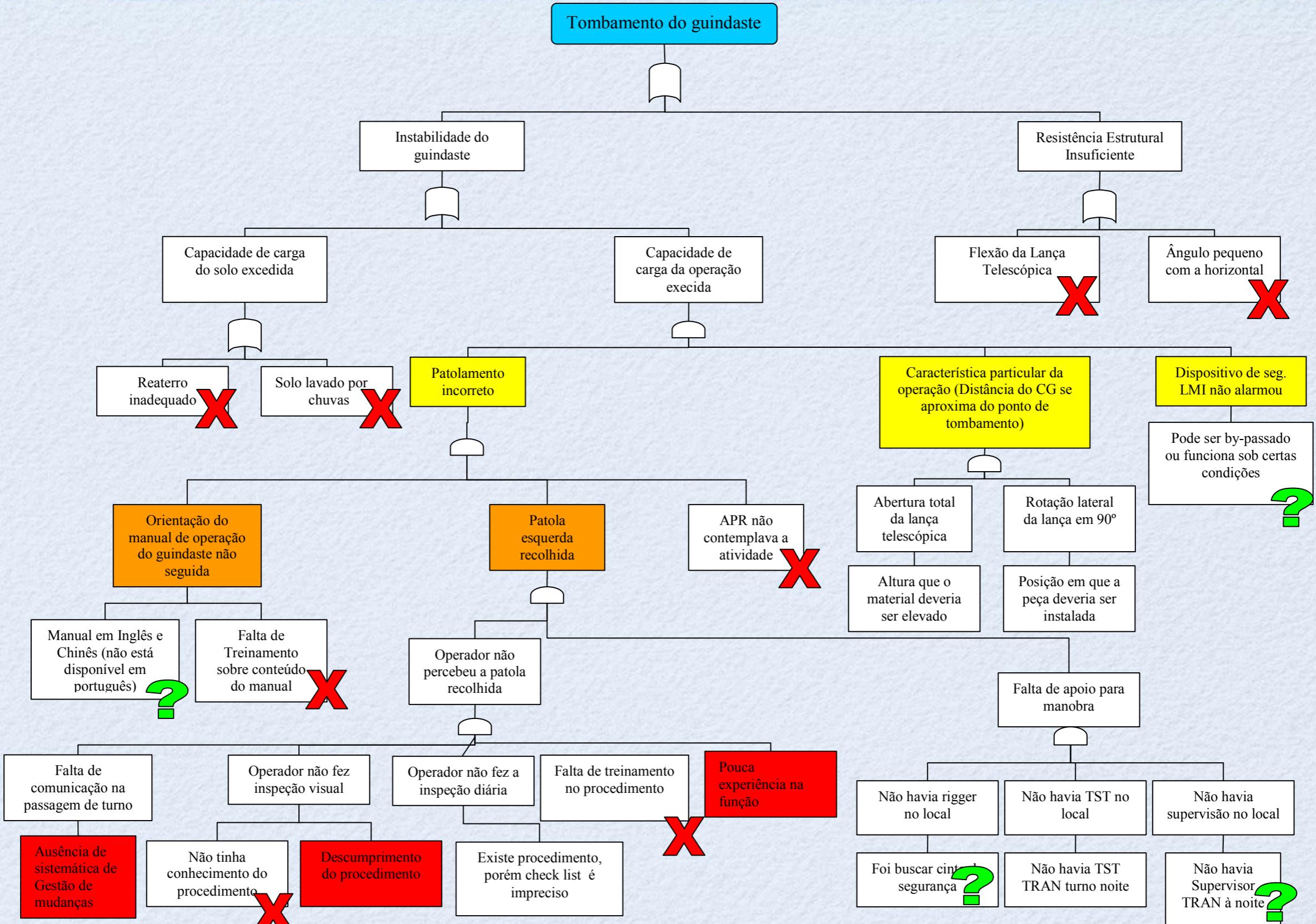
*"We often propose solutions to problems that we do not understand and then are surprised when the solutions fail to have the anticipated effect".*

*(Leveson, 2012)*

# Different models - different consequences

	Basic principle	Purpose of analysis	Typical reaction
Simple, linear model	Causality (Single or multiple causes)	Find specific causes and cause-effect links.	Eliminate causes and links. Improve responses
Complex, linear model	Hidden dependencies	Combinations of unsafe acts and latent conditions	Strengthen barriers and defences. Improve observation (of indicators)
Non-linear (systemic) model	Dynamic dependency, functional resonance	Performance variability + functional dependencies	Monitor & control performance variability. Improve anticipation

# Accident analysis: event tree



# Everyday operations: lifting of loads with the use of mobile cranes



# Step 1: description of the functions needed for a lifting of loads with a crane

F&T- No	FUNÇÕES E TAREFAS
<b>F1</b>	<b>Controle preventivo</b>
<b>T1</b>	Verificar o equipamento de guindar
<b>T2</b>	Verificar os acessórios do equipamento de guindar
<b>T3</b>	Efetuar os testes de funcionamento do equipamento
<b>T4</b>	Assegurar os requisitos de SMS – Segurança, Meio Ambiente e Saúde
<b>F2</b>	<b>Preparação das manobras de içamento</b>
<b>T5</b>	Tomar ciência do trabalho a ser realizado
<b>T6</b>	Seleção dos acessórios de movimentação de carga
<b>T7</b>	Amarração da carga
<b>F3</b>	<b>Execução das manobras de içamento</b>
<b>T8</b>	Içar a carga
<b>T9</b>	Mover a carga
<b>T10</b>	Depositar a carga
<b>T11</b>	Desamarração da carga
<b>T12</b>	Estacionar o equipamento de guindar
<b>F4</b>	<b>Manutenção do equipamento de guindar e dos acessórios de movimentação de carga</b>
<b>T13</b>	Identificação das anomalias sobre o equipamento e seus acessórios
<b>T14</b>	Verificação dos consertos e manutenções efetuados

Origin of the essential functions  
of this system

Analyse de profession : opérateur / opératrice d'appareils de levage - 2001, 2006 and 2009 + INTERVIEWS with the operators



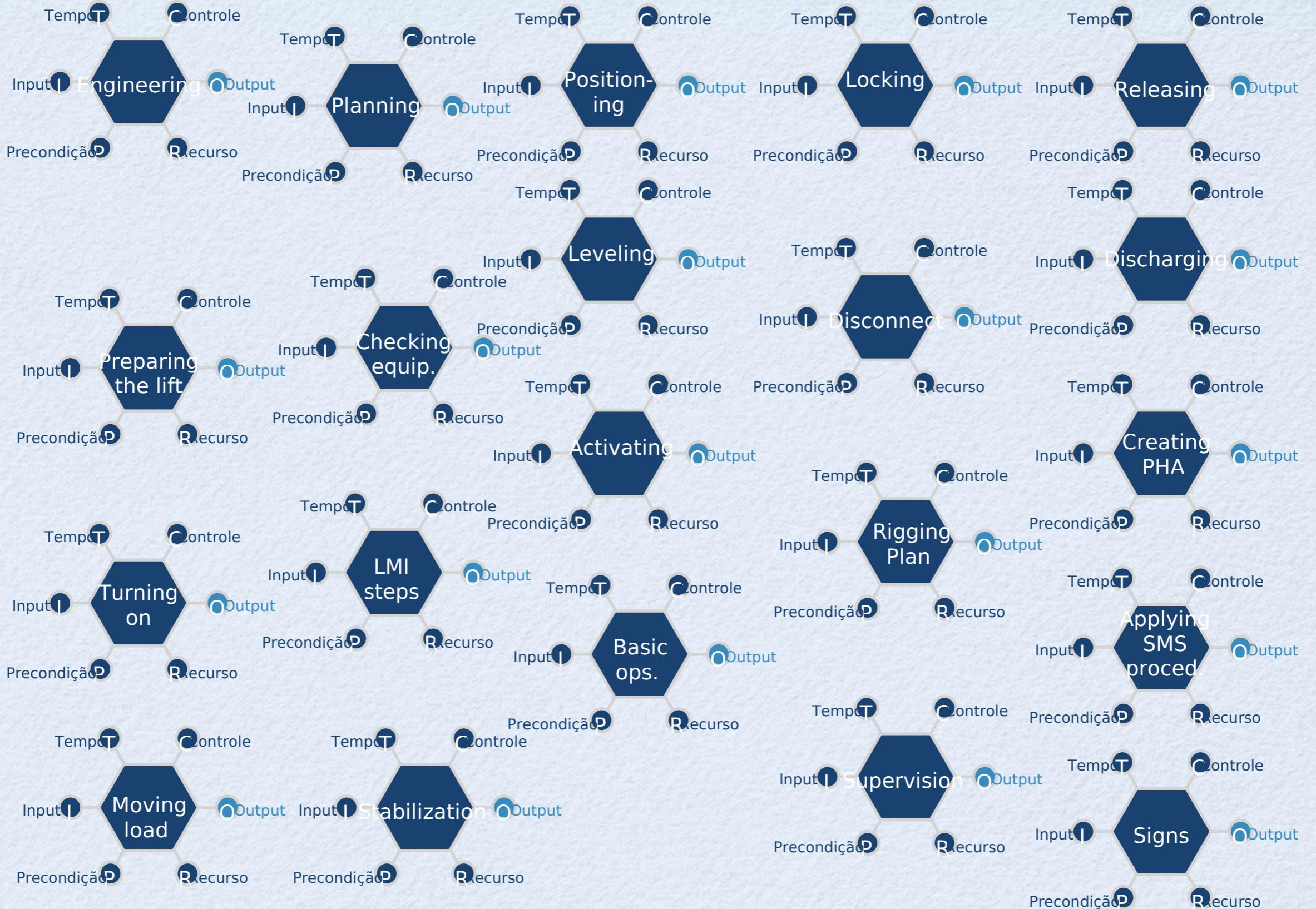
T	Análise da Profissão (2001)	Nº	Análise do operador de grua auto-propelida (2009)
T1	Verificação do equipamento de guindar	6	Efetuar as verificações antes da posta em marcha e as inspeções rotineiras
T5	Tomar conhecimento do trabalho a ser executado	11	Efetuar previamente o planejamento do içamento
T8	Içar a carga	19	Efetuar as manobras elementares com o guindaste
T9	Movimentar a carga	19	Efetuar as manobras elementares com o guindaste
T10	Depositar a carga	19	Efetuar as manobras elementares com o guindaste
T13	Identificar as anomalias do equipamento e acessórios	7	Efetuar as verificações de forma continuada
		8	Efetuar manutenção menor do guindaste
		9	Inspecionar e realizar a manutenção de cintas e dos acessórios de movimentação de carga
T14	Verificar os reparos e manutenção efetuados	7	Efetuar as verificações de forma continuada
		8	Efetuar manutenção menor do guindaste

# Functions

Nome da FUNÇÃO	Posicionamento da carga sobre a base ou suporte
Descrição	Objetivo final da manobra de movimentação de carga. A ser realizado pela equipe de logística.
Aspecto	Descrição do aspecto
<b>Input:</b>	A movimentação de carga está concluída
<b>Output:</b>	A carga foi posicionada sobre a base ou suporte.
<b>Precondição:</b>	Os documentos com detalhamento de engenharia aprovados para montagem estão emitidos Operador de guindaste com experiência de 5 anos em plantas industriais Guindaste com menos de 10 anos de fabricação
<b>Recurso:</b>	Guindaste móvel de 70 ton e seus acessórios
<b>Controle</b>	Plano de rigging emitido Análise Preliminar de Riscos - APR elaborada Supervisão de movimentação de carga no local
<b>Tempo</b>	Início mais cedo/mais tarde e Fim mais cedo/mais cedo da atividade de movimentação de carga de acordo com o cronograma de mobilização dos recursos; ocorre após a movimentação de carga.



# FRAM model



# Step 2: Characterizing Potential and Actual Variabilities – Simple solution)

Nome da FUNÇÃO	Elaborando o plano de rigging	
VARIABILIDADE POTENCIAL REFERENTE AO MODELO		
Função	Output	Variabilidade do Output
Elaborando o plano de rigging	O plano de rigging foi emitido	<p><b>Muito tarde: Possível, mais provável do que muito cedo.</b> Embora em algumas ocasiões o plano de rigging possa estar pronto antes do início da manobra (e isso até desejável), o mais comum é ser confeccionado em paralelo com a necessidade da manobra devido à limitada disponibilidade dos participantes; o que gera atrasos</p> <p><b>Aceitável: Possível.</b> Em princípio o plano de rigging atende às configurações específicas da movimentação, mas é um documento que pode ser modificado face à uma eventual alteração de última hora. No caso de profundas alterações o plano é geralmente refeito.</p>
VARIABILIDADE ATUAL ESPERADA REFERENTE A UMA INSTANCIACÃO DO MODELO		
Função	Output	Variabilidade do Output
Elaborando o plano de rigging	O plano de rigging foi emitido	<p><b>Não realizado: Possível.</b> Na instanciação correspondente ao tombamento não foi verificado a existência do plano de rigging correspondente a manobra.</p> <p><b>Impreciso: Provável, referindo-se a condições gerais.</b> Existe uma prática usual no meio da construção, baseada em observações meramente empíricas, de que um içamento menor do que 5 ton não requer a elaboração de um plano de rigging. Obviamente não somente deveria-se considerar o peso, mas também o entorno, o tipo de içamento (se crítico ou normal) e os demais preparitivos necessários. As razões devem-se às pressões da produção por redução de prazos e eficiência em detrimento da precisão. Para tais manobras operadores fazem uso de heurísticas simples (estimativa de peso de carga como único critério) como forma de se adaptar às condições de trabalho</p>

# Characterizing the Performance Variability – Elaborate solution

Nome da FUNÇÃO	Operações elementares
Variabilidade da função <a href="#"><b>&lt;Operações elementares&gt;</b></a> em termos de:	Descrição/exemplo
Tempo / duração	<b>Omissão: a função não se completa (dentro do intervalo permitido).</b> Na instanciação correspondente ao tombamento, as operações básicas não puderam ser concluídas porque o guindaste tombou.
Força / Distância / Direção	N/A
Objeto errado	<b>O output é um objeto errado, ou aponta para um objeto errado. O objeto aponta para um objeto vizinho (proximidade), um objeto similar ou um objeto não relacionado.</b> Na instanciação correspondente ao tombamento, o operador em seu relato relata de ter verificado a patola dianteira, mas não verificou as patolas transversais.
Sequência	Outputs que incluem uma sequência de objetos, de movimento, ou de mudanças (de estado), podem variar nas seguintes maneiras:  <b>Omissão: uma parte da sequência está faltando.</b> Na instanciação correspondente ao tombamento, a parte do patolamento não foi concluída e comprometeu a realização da manobra.

# Step 3: the Aggregation of Variability. Upstream and Downstream Couplings

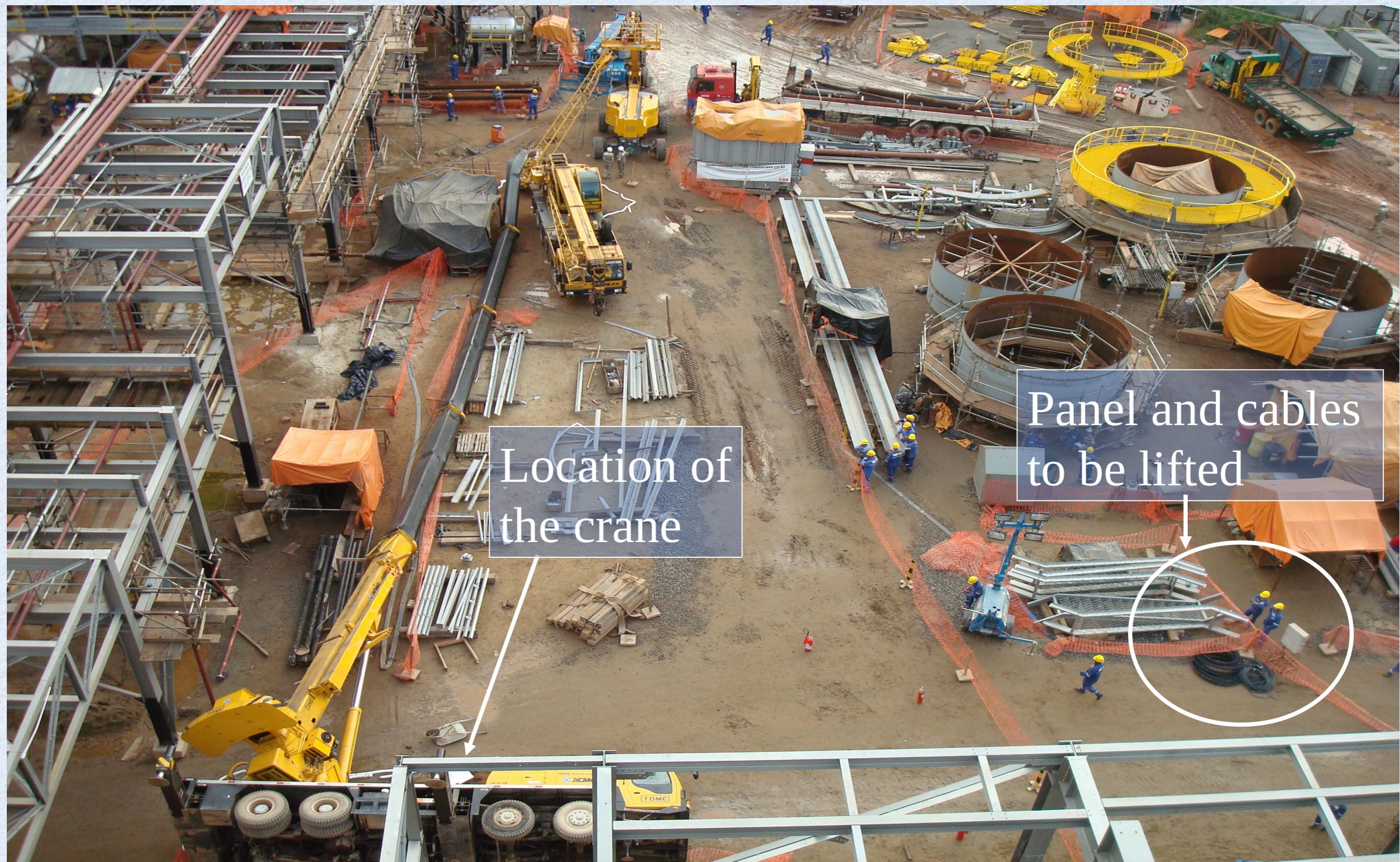
Nome da FUNÇÃO		Preparando o içamento
		Possíveis efeitos sobre funções à jusante
Variabilidade do Output à montante para P		
Temporização	Muito cedo	Partida em falso; pré-condição pode não ter sido identificada
	No prazo	Possível amortecimento
	<b>Muito tarde</b>	<b>Possível perda de tempo</b>
	Omissão	Improvisação aumentada; possível perda de tempo
Precisão	Impreciso	Possível perda de tempo (desambiguação); possível mal-entendido
	<b>Aceitável</b>	<b>Nenhuma mudança</b>
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para R		
Temporização	Muito cedo	Sem efeito
	No prazo	Possível amortecimento
	<b>Muito tarde</b>	<b>Possível perda de tempo</b>
	Omissão	Substituição por abordagens alternativas, se possível; improvisação
Precisão	Impreciso	Funcionamento inadequado ou reduzido
	<b>Aceitável</b>	<b>Sem efeito</b>
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para C		
Temporização	Muito cedo	Input de controle pode estar ausente
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	<b>Muito tarde</b>	<b>Controle padrão ou ad hoc pode ser utilizado em vez disso</b>
	Omissão	"Controle" substituto pode ser encontrado
Precisão	Impreciso	Atrasos, compromissos (trade-offs) em precisão e exatidão
	<b>Aceitável</b>	<b>Sem efeito</b>
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para T		
Temporização	Muito cedo	Início antecipado, temporização incorreta
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	<b>Muito tarde</b>	<b>Atividade atrasada; conflitos de agenda; perda de sincronização</b>
	Omissão	Função de início ou parada imprecisa ou incorreta
Precisão	Impreciso	Aumento da variabilidade
	<b>Aceitável</b>	<b>Sem efeito</b>
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para I		
Temporização	Muito cedo	Início prematuro; input possivelmente perdido
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	<b>Muito tarde</b>	<b>Função adiada, levando a atalhos</b>
	Omissão	Função não realizada ou severamente atrasada
Precisão	Impreciso	Perda de tempo, perda de precisão, mal-entendidos
	<b>Aceitável</b>	<b>Sem efeito</b>
	Preciso	Possível amortecimento

Nome da FUNÇÃO		Preparando o içamento
		Possíveis efeitos sobre funções à jusante
Variabilidade do Output à montante para P-INST		
Temporização	<b>Muito cedo</b>	<b>Partida em falso; pré-condição pode não ter sido identificada</b>
	No prazo	Possível amortecimento
	Muito tarde	Possível perda de tempo
	Omissão	Improvisação aumentada; possível perda de tempo
Precisão	<b>Impreciso</b>	<b>Possível perda de tempo (desambiguação); possível mal-entendido</b>
	Aceitável	Nenhuma mudança
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para R-INST		
Temporização	<b>Muito cedo</b>	<b>Sem efeito</b>
	No prazo	Possível amortecimento
	Muito tarde	Possível perda de tempo
	Omissão	Substituição por abordagens alternativas, se possível; improvisação
Precisão	<b>Impreciso</b>	<b>Funcionamento inadequado ou reduzido</b>
	Aceitável	Sem efeito
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para C-INST		
Temporização	<b>Muito cedo</b>	<b>Input de controle pode estar ausente</b>
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	Muito tarde	Controle padrão ou ad hoc pode ser utilizado em vez disso
	Omissão	"Controle" substituto pode ser encontrado
Precisão	<b>Impreciso</b>	<b>Atrasos, compromissos (trade-offs) em precisão e exatidão</b>
	Aceitável	Sem efeito
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para T-INST		
Temporização	<b>Muito cedo</b>	<b>Início antecipado, temporização incorreta</b>
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	Muito tarde	Atividade atrasada; conflitos de agenda; perda de sincronização
	Omissão	Função de início ou parada imprecisa ou incorreta
Precisão	<b>Impreciso</b>	<b>Aumento da variabilidade</b>
	Aceitável	Sem efeito
	Preciso	Possível amortecimento
Variabilidade do Output à montante para I-INST		
Temporização	<b>Muito cedo</b>	<b>Início prematuro; input possivelmente perdido</b>
	No prazo	Sem efeito, possível amortecimento
	Muito tarde	Função adiada, levando a atalhos
	Omissão	Função não realizada ou severamente atrasada
Precisão	<b>Impreciso</b>	<b>Perda de tempo, perda de precisão, mal-entendidos</b>
	Aceitável	Sem efeito
	Preciso	Possível amortecimento

Model

Instantiation

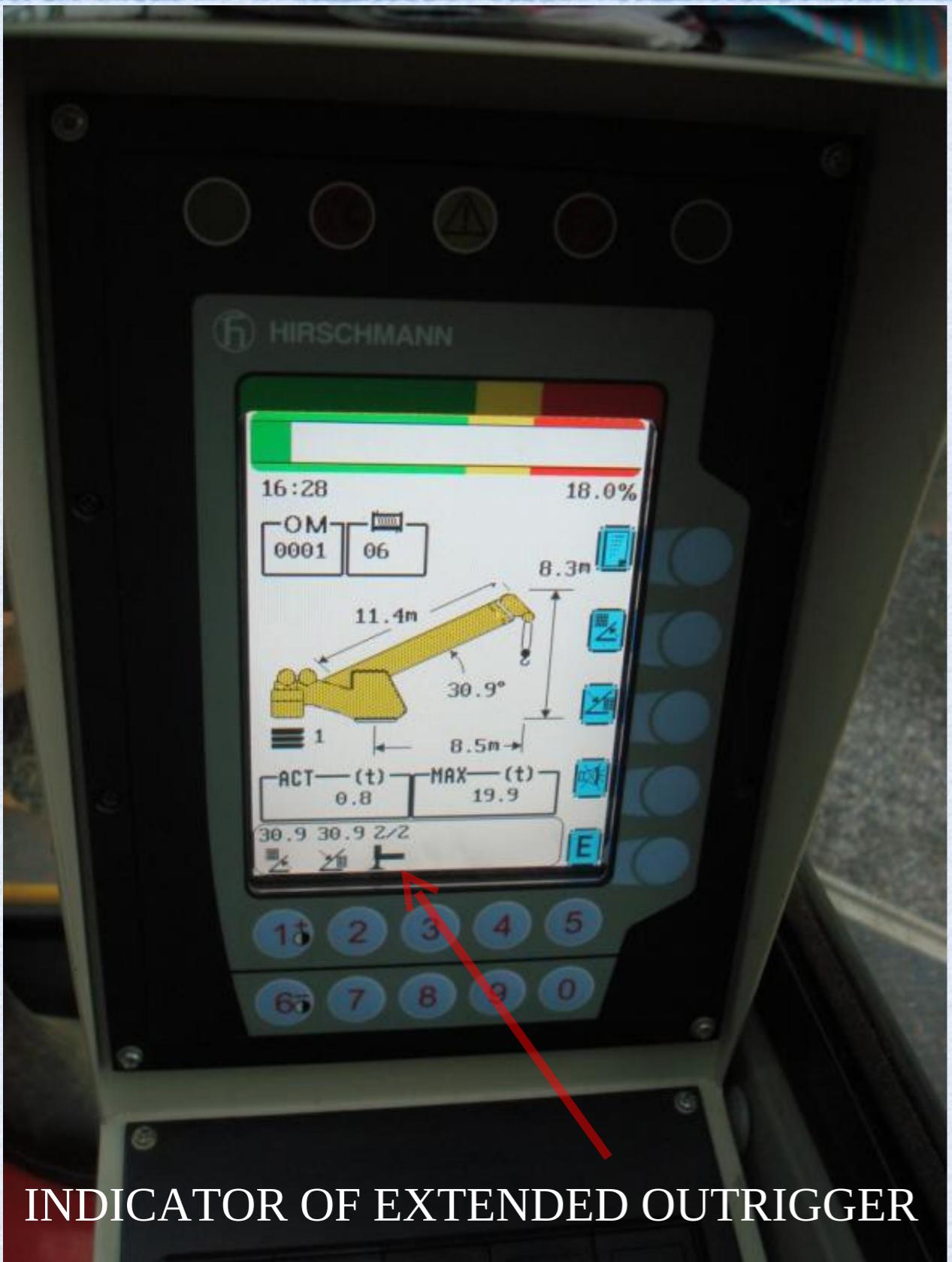
# Instantiation of the model: the overturning of the mobile crane



# The status of the outriggers



# LMI interface device (load moment indicator)

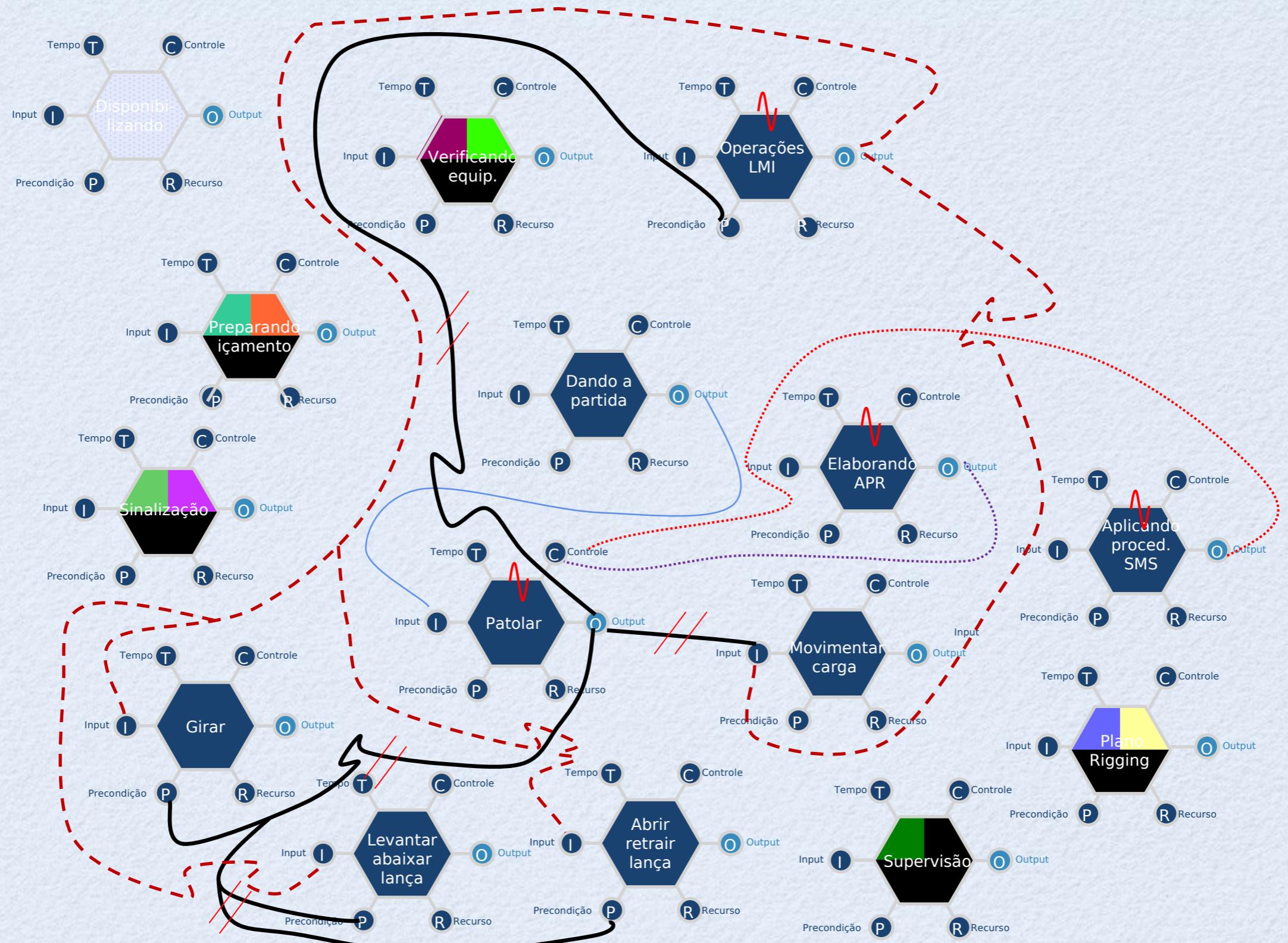


INDICATOR OF EXTENDED OUTRIGGER



LAMP INDICATING THE HALF OPENING  
OF THE OUTRIGGER

# First instantiation



# Signs and supervision

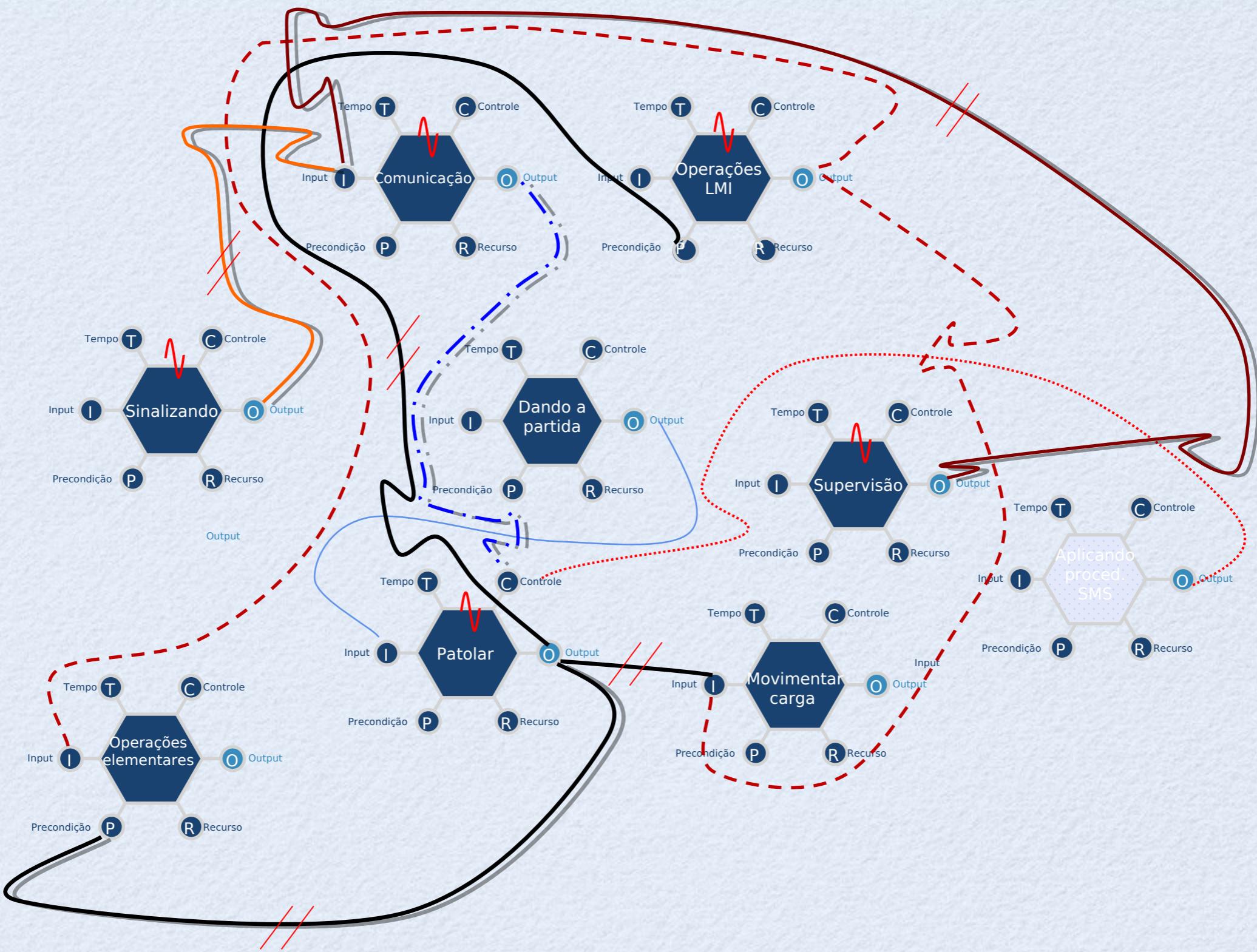


# Interconnections between the functions

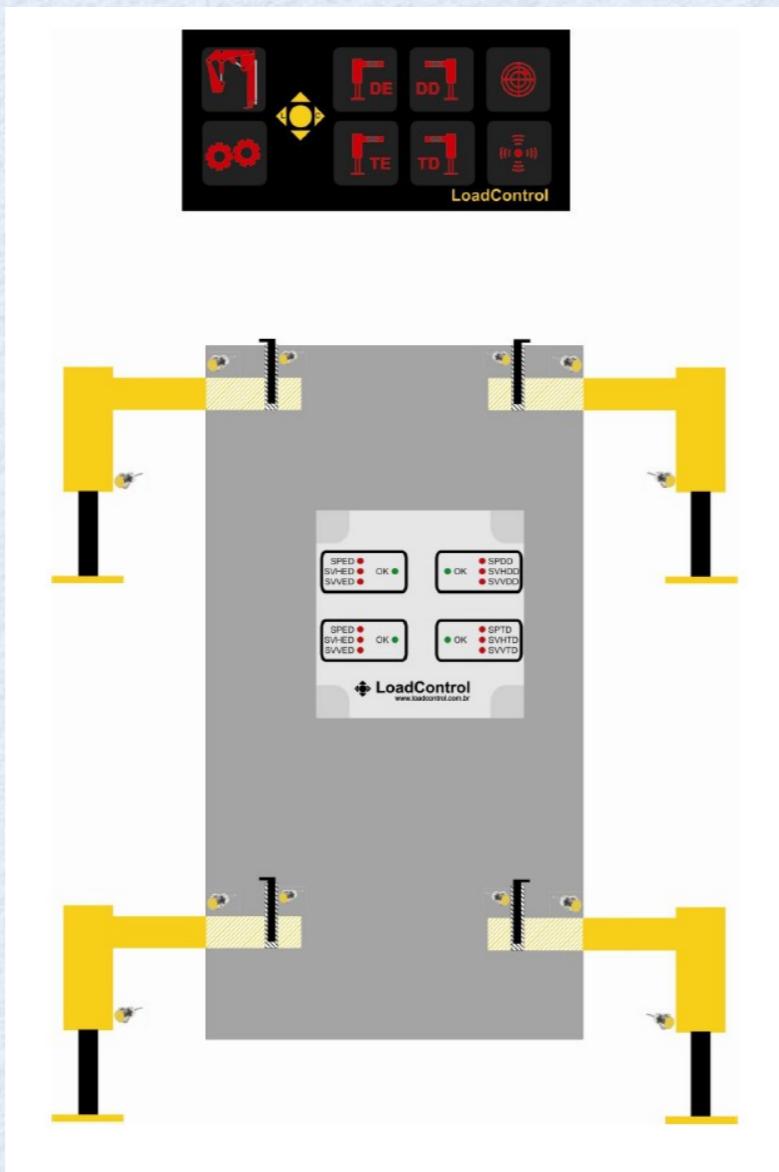
Nome da FUNÇÃO	Operações elementares
----------------	-----------------------

O output (O) da função:	pode sob certas condições ser interconectado a função
<b>Operações elementares</b>	<b>Nome: Supervisionando</b> como qualquer um dos seguintes (explicar quando e como): Input (I)   Tempo (T)   Controle ( C )   <b>Temporização: Omissão."Controle" substituto pode ser encontrado.</b> A Supervisão está intimamente ligada às operações elementares. Quando esta não está presente um outro tipo de controle se instaura; o peso recai somente sobre o operador. <b>Precisão: Impreciso. Atrasos, compromissos (trade-offs) em precisão e exatidão.</b> O clássico princípio ETTO em ação, onde na falta de um especialista com mais experiência o operador estabelece um compromisso em precisão e eficácia. Precondição (P)   Recurso ( R )
<b>Operações elementares</b>	<b>Nome: Sinalizando</b> como qualquer um dos seguintes (explicar quando e como): Input (I)   Tempo (T)   Controle ( C )   <b>Temporização: Omissão."Controle" substituto pode ser encontrado.</b> A Sinalização está intimamente ligada às operações elementares. Quando esta não está presente um outro tipo de controle se instaura; o peso recai somente sobre o operador. <b>Precisão: Impreciso. Atrasos, compromissos (trade-offs) em precisão e exatidão.</b> O clássico princípio ETTO em ação, onde na falta de suporte para dividir a responsabilidade de tudo perceber o operador estabelece um compromisso em precisão e eficácia. Precondição (P)   Recurso ( R )

# Second instantiation



# Step 4: Sensors to monitor the stability of the crane



Device to monitor the actual state of opening of the outriggers

# Critical points

If the display showing the outriggers extension was crucial , the signal/noise relation could not be so lower that it avoid its detection. In fact, the operator could have ignored the stabilizing variable to be concentrated in others (cognitive tunnel vision).

The crane´s on-board automation system creates an unforgiven environment, which does not tolerate a mistake made by the operator. Not sute that introducing more tech will help.

The economic/financial situation of the subcontractor (owner of the equipments) wasn´t approached on the research. New data recently obtained indicates problems to adapt to the new Construction boom reality; lack of operators to new big cranes, lack of training to newcomers/small machines operators and unreliable SMS (documents in chinese?).

# Conclusion: FRAM, can we use it?

The experts seems to be satisfied with the answers obtained with the traditional methods (RESISTANCE).

FRAM requires the existence of a group of specialists with experience in the subject (cranes and liftings).

Mostly, it is important to have a good background on Human Factors, on Complex Sociotechnical Systems and of course on the technologies to evaluate the Potential and Actual Variability of the function involved and about Risk evaluation in general.

Nevertheless, for complex sociotechnical systems it constitutes a very useful Method. Don´t use it if you want to analyze minor accidents that are common in the Construction sites.

# Future developments

The use of FRAM for Risk Analysis in the Electromechanical Construction and Assembly sector.

We can thinking ahead also using Fuzzy Logic to the quantification of variability descriptions, since the variability is described verbally (as a quality).

“It is entirely possible to introduce fuzzy rather than crisp descriptors, and this may be a step in the direction toward quantification”.

(Erik Hollnagel, 2012, p.94)

“When the only tool you have is a hammer, everything begins to look like a nail”.

(Lotfi Zadeh)