

# Sinistros durante a construção e montagem de Centrais Hidrelétricas

ITSEMAP



## INTRODUÇÃO

A relevância dos sinistros durante a construção e montagem de centrais hidrelétricas subjaz, não somente pelo elevado custo de reconstrução ou reposição de equipes em caso de sinistro, mas também pelo efeito nos prazos de execução da obra e atrasos na implementação da instalação, com o conseqüente lucro cessante.

Os sistemas de produção hidrelétrica são uma alternativa viável e de baixo custo para a produção de eletricidade e, ao mesmo tempo, contribuem para reduzir o impacto sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa na atmosfera no âmbito da produção elétrica. Atualmente este tipo de sistemas conta com técnicas absolutamente amadurecidas e testadas.

Embora a construção de centrais hidráulicas na Europa se limite a ampliar ou modernizar o parque de centrais existentes, um maior aproveitamento de recursos hídricos com a construção de novas centrais hidroelétricas é um dos focos para o qual os países latino-americanos estão orientando a sua capacidade de produção energética para os próximos anos. De acordo com a OLADE (Organização Latino-Americana de Energia), o grau de aproveitamento do potencial hidrelétrico da região é de somente 22% (fonte: junho de 2013).

Mundialmente, aproximadamente 16% da geração elétrica é realizada através do emprego desta tecnologia, e está previsto um aumento da potência instalada principalmente em países da Ásia, África e América Latina.

## O QUE É UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA?



Uma central hidrelétrica é uma central elétrica que permite o aproveitamento elétrico da força hidráulica com o emprego de uma turbina hidráulica. A turbina hidráulica transforma a energia potencial e cinética da água em movimentos mecânicos. Ao instalar um gerador solidário com o eixo da turbina os movimentos mecânicos são convertidos diretamente em corrente elétrica.

A potência de uma turbina hidráulica (P) é determinada a partir do produto da aceleração gravitacional (g), da densidade da água, da altura ou queda da água (h), da pressão de água da turbina (Q) e do rendimento ( $\eta$ ), normalmente com valores de 85-95%.

$$P = \eta * \rho * g * h * Q$$

As turbinas hidráulicas operam de acordo com curvas características que relacionam os parâmetros apresentados anteriormente.

## TIPOS DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Partindo do conceito de aproveitamento elétrico descrito anteriormente, podem ser definidos diferentes tipos de centrais hidráulicas em função das construções civis necessárias de acordo com as condições orográficas, hidrológicas e geotécnicas.

- **Central de represa**, é aquela central que implica a construção de um muro grosso de diversos materiais com o objetivo de armazenar água para encaminhá-la ou regular seu curso fora do leito.

- **Central a fio d'água,** é aquela que utiliza a força da pressão do rio e a sua força de queda para gerar eletricidade sem a necessidade de inundar sua parte alta com a criação de um reservatório ou de um desvio do rio do seu leito natural, aproveitando o estreitamento do leito para conseguir maior velocidade da água.
- **Central reversível,** é aquela central de acumulação ou reversível na qual a água armazenada em um reservatório inferior ou proveniente de um rio é bombeada para um reservatório superior para a sua acumulação e posterior turbinagem.

## TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

**Turbina Francis,** é aquela turbina de passagem radial que possui um amplo espectro de aproveitamento, normalmente com altura de água e pressão elevadas, dando lugar a unidades de geração de grande potência.



**Turbina Kaplan,** é aquela turbina com um rotor tipo hélice e com uma passagem de fluxo totalmente axial. Seu aproveitamento costuma ser em quedas de água inferiores a das turbinas Francis.



**Turbina tipo Bulbo,** são um modelo especial de turbina Kaplan. Estas turbinas são aptas para aproveitar quedas de pouca altura e grande pressão e conta com a peculiaridade de que o gerador elétrico fica dentro de uma cobertura que envolve o bulbo.



**Turbina Pelton,** é aquela turbina de ação onde a energia potencial da altura da água se transforma em cinética através de injetores que projetam a água no rotor disposto com pás que transformam esta energia cinética em giro da turbina. Sua aplicação é limitada a grandes quedas de altura e baixa pressão.





## EVOLUÇÃO MUNDIAL DA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

De acordo com as conclusões do relatório da IEA “Technology Roadmap: Hydropower, 2012”, há uma previsão de que a geração hidrelétrica possa dobrar sua contribuição no ano de 2050, alcançando 2000 GW de potência instalada global e uma produção elétrica de cerca de 7000 TWh. Esta conquista, motivada principalmente pela busca por energia limpa, poderia prevenir emissões anuais de até 3 bilhões de CO2 provenientes de fábricas de combustível fóssil. A maior parte deste crescimento viria de instalações em economias emergentes e países em desenvolvimento.

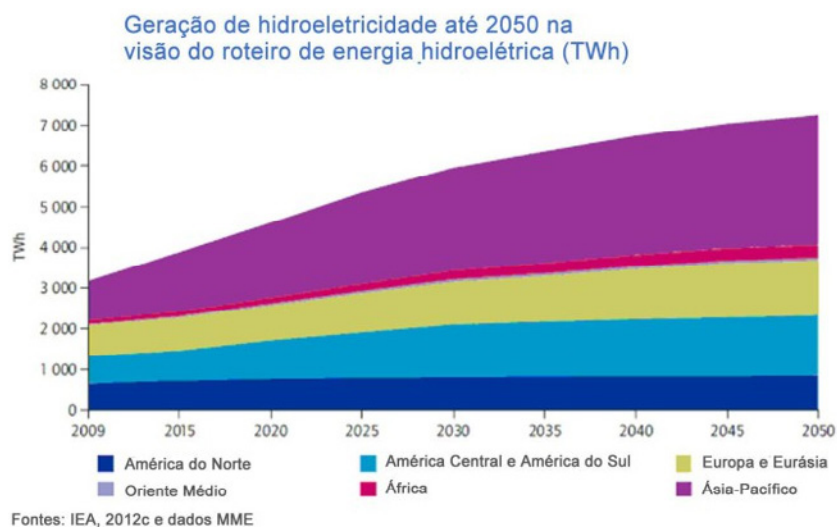


Gráfico 1. Projeção da geração hidrelétrica

A energia hidrelétrica é a tecnologia com maior peso na geração elétrica renovável no mundo e, de acordo com a previsão, vai se manter nessa posição. Desde 2005, as novas instalações hidrelétricas geraram mais eletricidade do que todas as energias renováveis combinadas.

O potencial para novas centrais hidrelétricas é considerável, principalmente na África, Ásia e América Latina. Em países deste meio, projetos de grandes e pequenas centrais hidrelétricas podem ajudar no acesso a sistemas elétricos modernos, aliviar a pobreza e promover o desenvolvimento social e econômico, principalmente em comunidades locais. Nos países industrializados, benefícios adicionais podem ser derivados da modernização ou melhoria das centrais existentes.

## METODOLOGIA DE ANÁLISE

A pesquisa é realizada a partir da análise de sinistros na construção e montagem de centrais hidrelétricas na carteira da MAPFRE.

A principal fonte de informação para a análise das amostras é a ferramenta Century. A partir do dado de número da apólice foi possível examinar os diferentes expedientes de sinistros nas obras correspondentes. De uma análise rigorosa dos relatórios de perícias disponíveis e comunicações registradas, foi possível determinar, na maioria dos sinistros, uma série de campos definidos que permitem tirar conclusões nos sinistros das obras hidrelétricas. A análise das características das obras e das centrais hidrelétricas foi realizada com base nas informações fornecidas pelos segurados para a assinatura ou renovação das apólices, embora não seja frequente a disponibilidade da documentação técnica detalhada.

Foi possível retirar as informações relacionadas às apólices das obras assinadas da ferramenta Siglo ou através do conteúdo dos relatórios periciais.

La información relativa a las pólizas de las obras suscritas se ha podido extraer de la herramienta Siglo o bien a través del contenido de los informes periciales.

## AMOSTRAS DAS OBRAS HIDRELÉTRICAS

Conforme foi citado no ponto anterior, a amostra das obras hidráulicas foi retirada da identificação de uma série de obras dentro da carteira da MAPFRE. Cabe destacar a tentativa de aumentar a amostra a partir das informações que poderiam ser retiradas do setor (por exemplo, resseguro, IMIA), embora não tenha sido possível reunir detalhe técnico/econômico suficiente nos sinistros encontrados para poder incorporar ao presente estudo. A amostra compreende 9 obras hidrelétricas localizadas principalmente na região latino-americana, com exceção da obra em La Muela II localizada na Espanha (ver Tabela 1).

**Tabela 1: Principais características das obras analisadas**

Obra	País	Cliente/Tomador	Breve descrição da Obra e alcance Civil	Data Início	Data Término*
LAJA	Chile	EÓLICA MONTE REDONDO	Central Nova. Construção de uma represa.	set/09	dez/14
LA MUELA II	Espanha	IBERDROLA Generación	Aumento da capacidade da central existente. Construção subterrânea da caverna e escavação das tubulações forçadas para um reservatório superior já existente.	ago/05	set/15
SAN PEDRO	Chile	COLBUN	Central nova. Construção da represa e do túnel de adução.	jul/10	obra parada
ANGOSTURA	Chile	COLBUN	Central nova. Construção da represa e do túnel de adução.	jan/10	abr/14
EL QUIMBO	Colômbia	EMGESA	Central nova. Construção da represa, dique auxiliar e dos túneis de adução.	dez/10	mai/15
CERRO DEL ÁGUILA	Peru	CERRO DEL ÁGUILA	Central nova. Construção da represa com túneis de condução e caverna de sala de máquinas.	mai/11	out/15
LA CONFLUENCIA	Chile	HOCHTIEF CONSTRUCTORA CHILENA	Central nova. Construção de 2 túneis subterrâneos extensos (7-10 km) em forma e sem construção de represa.	fev/08	fev/13
PANDO E MONTE LIRIO	Panamá	COBRA	Centrais novas. Duas centrais em cascata (Pando - Montelirio) com construção de represas e túneis.	set/09	dez/14
PEDREGALITO I e II	Panamá	COBRA	Centrais novas. Duas centrais em cascata com construção de represa em Pedregalito I.	dez/09	nov/11

(\*) Data de término ou última estimativa com as informações disponíveis.

Com base na análise da documentação de assinatura e das apólices, foram obtidos os seguintes dados:

Obra	Suma Asegurada €	SA Daños Materiales €	Presupuesto relativo a Obra Civil €	SA ALOP €	Otras coberturas
LAJA	114.760.000	93.480.000	44.589.846	21.280.000	LEG 2
LA MUELA II	230.498.584	230.498.584	80.713.970	Sin cobertura	LEG 2, LEG 3 (Lím. 5 MME)
SAN PEDRO	346.560.000	254.600.000	123.806.568	91.960.000	Sin información
ANGOSTURA	489.060.000	402.800.000	199.051.772	86.260.000	LEG 2, DE 3, DE 5 (Lím.10M€) Incluido Maquinaria de obra
EL QUIMBO	578.853.199	409.677.199	212.990.638	169.176.000	LEG 2, DE 3, DE 5 (Lím.10M€) Incluido Maquinaria de obra
CERRO DEL AGUILA	652.840.000	516.040.000	192.895.305	136.800.000	LEG 2
LA CONFLUENCIA	250.771.120	190.000.000	95.000.000	60.771.120	LEG2 Incluido Maquinaria de obra
PANDO Y MONTE LIRIO	209.146.680	177.528.400	113.035.655	31.618.280	Sin información
PEDREGALITO I y II	81.756.528	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información Incluido Maquinaria de obra
<b>Total</b>	<b>2.954.246.111</b>	<b>2.274.624.183</b>	<b>1.062.083.753</b>	<b>597.865.400</b>	

Cabe destacar que dentro das amostras de obras analisadas existem diferenças com relação à contratação de diferentes coberturas, destacando a contratação ou não da garantia ALOP (Muela II), de diferentes coberturas para erros de projeto, materiais ou montagem (geralmente LEG 2), ou cobertura/exclusão da máquinas de obra.

## AMOSTRA DE SINISTROS

A escolha das amostras corresponde aos seguintes critérios:

- Foi identificado um total de 59 sinistros relacionados a obras hidrelétricas, baseada em sinistros reunidos no Century.
- O estudo dos sinistros foi limitado àqueles com aplicação de garantias em Danos Materiais e ALOP, não sendo objeto da sua análise e incorporação às estatísticas aqueles sujeitos a garantias de Responsabilidade Civil.

Com base na análise individualizada dos sinistros, foi definida uma série de campos em uma tabela de Excel baseados em listas predefinidas e que depois do seu preenchimento permitiu analisar os resultados estatísticos.

Os conceitos analisados pelos sinistros são classificados em três grupos de dados correspondentes que abrangem:

- **Análise do sinistro:** causa de origem, danos ou consequências, cenário e período de ocorrência.
- **Avaliação/Tramitação do sinistro:** valor reclamado, avaliação e dedutíveis aplicáveis.
- **Dados de obra ou instalação.**

Com o objetivo de obter conclusões relevantes, os valores considerados foram sempre os valores totais 100%, tanto nos danos materiais como no lucro cessante, considerando, neste caso, tanto a perda econômica como os dias parados.



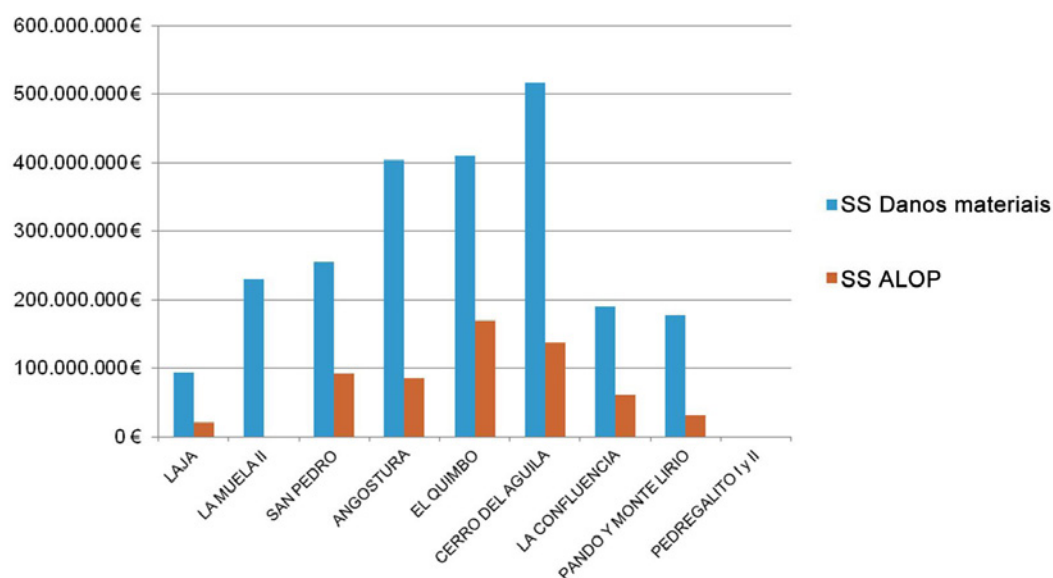
## PRINCIPAIS CONCLUSÕES

### CENTRAIS HIDRÁULICAS

- **Tipo de central.** Dentro da amostra analisada, são diferenciados três tipos de centrais hidráulicas: Fio d'água (RoR), Reversível e Represa, com uma concentração significativa da soma segurada nestas últimas, com cerca de 72%. Do mesmo modo, são as centrais tipo represa as que possuem uma maior potência total instalada, embora a instalação de La Muela seja a que maior potência instalada tem, cerca de 850 MW.

Tipo de Construção	Soma Segurada €	% SS	Potência [MW]	% Potência
<b>Run-of-the-River A fio d'água</b>	<b>574.677.800</b>	<b>19,45%</b>	<b>273,4</b>	<b>10,72%</b>
LA CONFLUENCIA	250.771.120	8,49%	156,0	6,11%
LAJA	114.760.000	3,88%	34,4	1,35%
PANDO E MONTE LIRIO	209.146.680	7,08%	83,0	3,25%
<b>Bombeamento/Reversível</b>	<b>230.498.584</b>	<b>7,80%</b>	<b>848,0</b>	<b>33,24%</b>
LA MUELA II	230.498.584	7,80%	848,0	33,24%
<b>Represa</b>	<b>2.149.069.727</b>	<b>72,75%</b>	<b>1.430,0</b>	<b>56,05%</b>
ANGOSTURA	489.060.000	16,55%	316,0	12,39%
CERRO DEL ÁGUILA	652.840.000	22,10%	525,0	20,58%
EL QUIMBO	578.853.199	19,59%	400,0	15,68%
SAN PEDRO	346.560.000	11,73%	144,0	5,64%
PEDREGALITO I e II	81.756.528	2,85%	45,0	1,76%
<b>Total</b>	<b>2.954.246.111</b>	<b>100,00%</b>	<b>2.551,4</b>	<b>100,00%</b>

- **Distribuição por obra.** De acordo com os dados de assinatura e com os orçamentos das obras, foram observadas grandes diferenças nas suas magnitudes como o seguinte gráfico apresenta. Nele se destacam três obras com orçamentos superiores a 500 milhões de euros em danos materiais, enquanto a central hidrelétrica de Laja está abaixo dos 100 milhões de euros.



## SINISTROS

- **Distribuição dos sinistros por obra.** Observa-se um número elevado de sinistros na obra de Laja, concentrando quase 32% dos danos da amostra. Este fato tem uma maior relevância considerando seu escasso peso nos dados da soma segurada apresentados no ponto anterior. Também cabe destacar um número elevado de sinistros em La Muela como consequência de um sinistro de cerca de 14 milhões de euros.

Central Hidráulica	Nº de sinistros	Danos Materiais €	Danos PBC	Total Danos	% Total Danos
LAJA	6	11.293.000	9.109.724	20.402.724	31,88%
LA MUELA II	3	16.735.604	-	16.735.604	26,15%
LA CONFLUENCIA	33*	13.589.064	-	13.589.064	21,23%
EL QUIMBO	7	7.540.887	-	7.540.887	11,78%
PANDO E MONTE LIRIO	3	532.000	2.736.000	3.268.000	5,11%
ANGOSTURA	3	1.486.099	-	1.486.099	2,32%
PEDREGALITO I e II	2	466.129	171.000	637.129	1,00%
CERRO DEL ÁGUILA	1	342.000	-	342.000	0,53%
SAN PEDRO	1	-	-	-	0,00%
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>51.984.783</b>	<b>12.016.724</b>	<b>64.001.507</b>	<b>100%</b>

(\*) La Confluencia apresenta 15 sinistros por impactos na circulação de veículos de obra e 8 sinistros por impactos nas máquinas de perfuração durante trabalhos nos túneis.

- **Distribuição de sinistros por países.** Com relação ao comportamento por análise geográfica, se levarmos em consideração a soma segurada correspondente, destacam-se negativamente a Espanha com o sinistro de La Muela, uma porcentagem elevada de danos no Chile, dado o maior número de obras analisadas, e o sinistro de Laja.

País	Nº de sinistros	Total Danos €	% Danos	Soma Segurada €	% Soma Segurada
CHILE	43*	35.477.887	55,43%	1.201.151.120	41,82%
PANAMÁ	5	3.905.129	6,10%	209.146.680	7,28%
PERU	1	342.000	0,53%	578.853.199	20,15%
COLÔMBIA	7	7.540.887	11,78%	652.840.000	22,73%
ESPAÑA	3	16.735.604	26,15%	230.498.584	8,02%
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>64.001.507</b>	<b>100%</b>	<b>2.872.489.583</b>	<b>100%</b>

(\*) Elevada frequência de sinistros no Chile por causa de La Confluencia, citado anteriormente.

- **Distribuição por tipo de central.** Dentro da amostra, diferenciam-se três tipos de centrais, com um número elevado de sinistros mais notável nas centrais do tipo a fio d'água, principalmente devido a Laja e La Confluencia. Em contrapartida, e apesar de concentrar um valor maior de soma segurada, as centrais do tipo represa pressupõem somente 15% da soma dos danos totais.



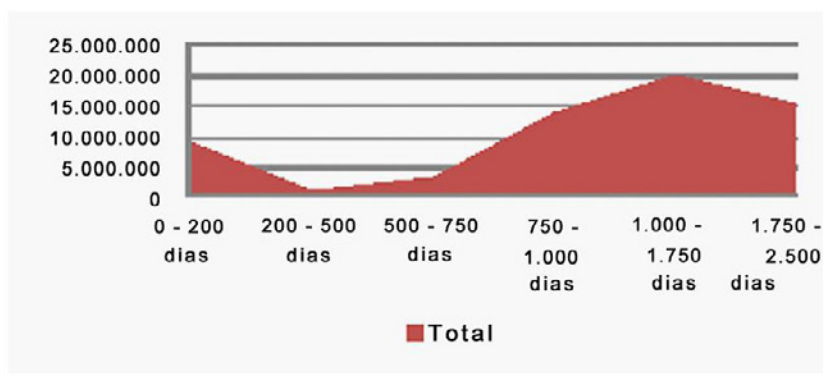
Tipo de Construção	Soma dos Danos	%
<b>Run-of-the-River A fio d'água</b>	<b>37.259.788</b>	<b>58,22%</b>
LA CONFLUENCIA	13.589.064	21,23%
LAJA	20.402.724	31,88
PANDO E MONTE LIRIO	3.268.000	5,11%
<b>Bombeamento/Reversível</b>	<b>14.434.000</b>	<b>22,55%</b>
LA MUELA II	14.434.000	22,55%
<b>Represa</b>	<b>10.006.115</b>	<b>15,63%</b>
ANGOSTURA	1.486.099	2,32%
CERRO DEL ÁGUILA	342.000	0,53%
EL QUIMBO	7.540.887	11,78%
SAN PEDRO	-	0,00%
PEDREGALITO I e II	637.129	1,00%
<b>Total</b>	<b>64.001.507</b>	<b>100%</b>

- **Sinistros por etapa do projeto.** Destaca-se o elevado dano médio provocado nas últimas etapas da obra durante os testes e a implementação da central. Neste ponto, aconteceram dois sinistros de elevada quantia na central de Laja e de La Muela.

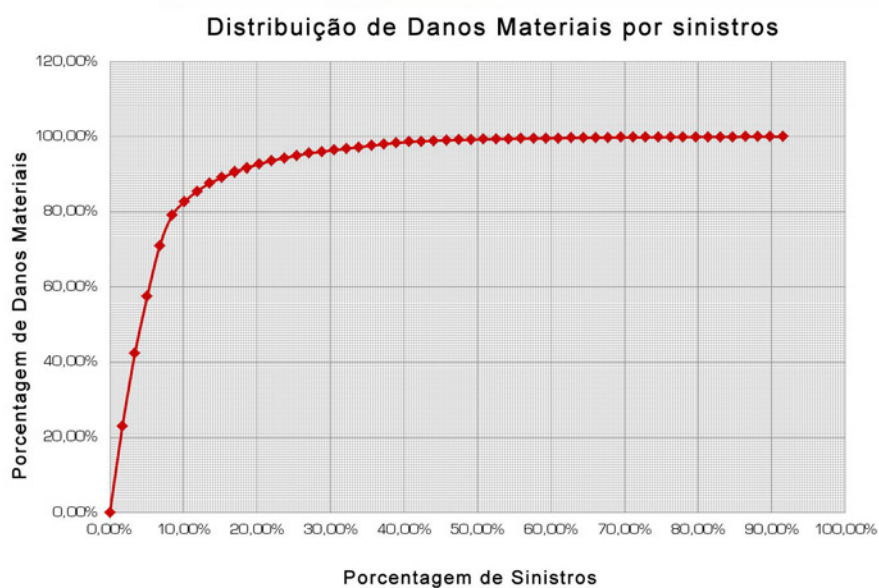
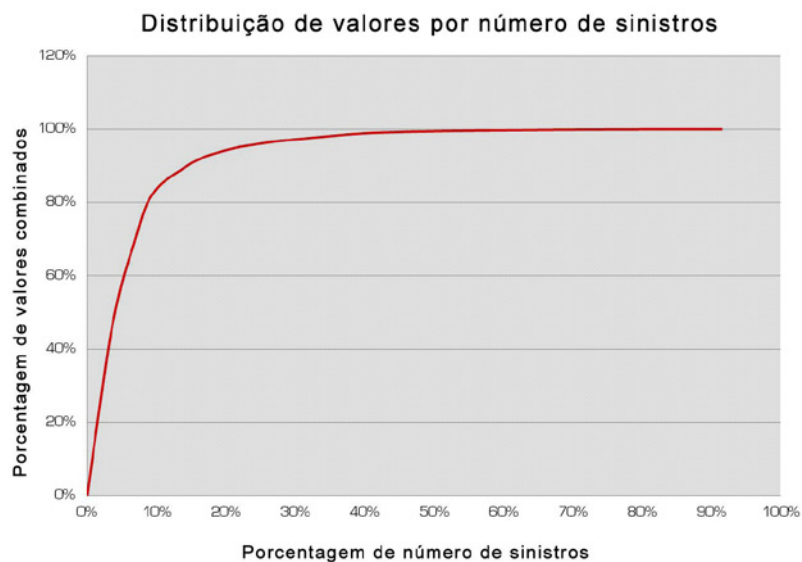
Fase da Obra	Nº de sinistros	Soma dos Danos €	Dano Médio €
Construção	54	42.267.385	782.729
Testes e implementação	5	21.734.122	4.346.824
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>64.001.507</b>	<b>1.084.771</b>

Analisando mais detalhadamente o período da obra no qual acontecem os sinistros, são observados os seguintes valores.

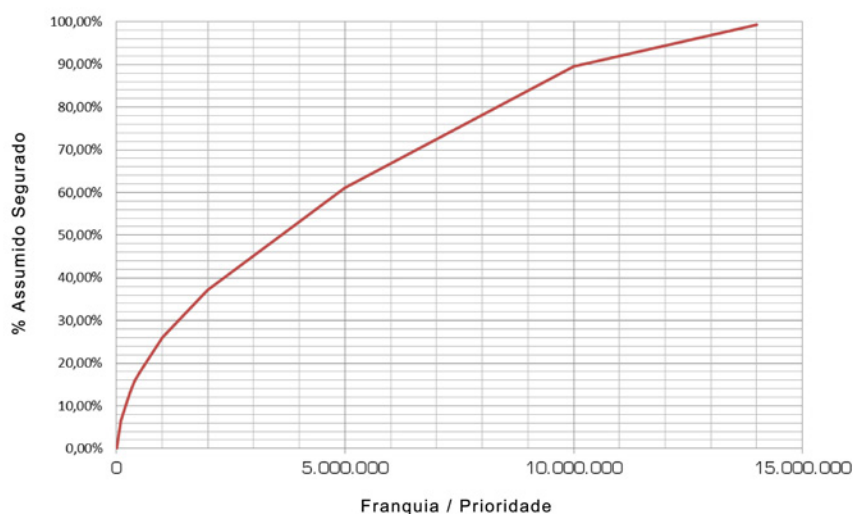
Intervalo	Soma dos Danos €
0-200 dias	9.519.507,68
200-500 dias	1.203.933,59
500-750 dias	3.222.063,44
750 – 1.000 dias	14.266.166,46
1.000 – 1.750 dias	20.405.835,78
1.750 – 2.500 dias	15.384.000,00
<b>Total</b>	<b>64.001.506,96</b>



- **Distribuição dos sinistros por valor.** Observa-se que uma percentagem relativamente pequena dos sinistros, isto é, 5 (8%), afeta aproximadamente 80% dos totais dos danos. Do mesmo modo, destaca-se que os dois sinistros mais importantes da amostra (em Laja e La Muella) pressupõem cerca de 44% da perda combinada (DM+PB).



- **Retenção do segurado em função dos dedutíveis.** Sobre a base de sinistros analisados se teria a seguinte distribuição da divisão da carga de sinistros (danos materiais), dependendo da franquia.



- **Causas dos sinistros.** Com relação aos grupos de causas pode-se observar uma clara incidência das falhas no Projeto/Material (44%), seguido de Operação/Execução (32%), tanto na frequência como nos valores, conforme é mostrado no gráfico seguinte. Os sinistros como consequência de eventos naturais extraordinários pressupõem cerca de 20% do total dos danos.

Fase da Obra	Nº de sinistros	Soma dos Danos €	Dano Médio €
Construção	54	42.267.385	782.729
Testes e implementação	5	21.734.122	4.346.824
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>64.001.507</b>	<b>1.084.771</b>

- **Cenário de danos.** Com relação às circunstâncias onde acontece o sinistro, foram encontrados os seguintes dados relevantes. Em primeiro lugar, destaca-se a elevada frequência do cenário Circulação de Veículos pela elevada quantidade de sinistros reclamados por danos nas máquinas na obra de La Confluencia (15 sinistros). Como cenário mais provável e de maior ocorrência, é observada a perda do controle ou a falta de segurança, em sua maioria, motivado pelo impacto dos dois sinistros mais importante da amostra e ocorridos em La Muela e em Laja.

Cenário Danos	Ocorrência %	Frequência %
Perda controle/segurança	58,10%	32,69%
Inundação/Avenida	18,32%	19,23%
Desprendimentos	15,20%	3,85%
Incêndio	3,69%	7,69%
Terremoto	2,81%	3,85%
Detonações	0,99%	5,77%
Circulação Veículos	0,88%	26,92%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>



- **Elemento origem da falha.** Destaca-se a relevância dos sinistros originados em túneis com um maior valor médio de danos, próximo a 4 milhões de euros, seguido dos sinistros originados pelos equipamentos eletromecânicos. Tirando a elevada frequência dos sinistros motivada por máquinas móveis, destaca-se uma maior frequência em equipamentos eletromecânicos, avenidas e originados na construção (escavações, talude, túneis).

Elemento origem da falha	Frequência	% Frequência	Soma Total Danos €	% Total Danos	Dano Médio €
Equipamentos eletromecânicos	8	13,56%	20.947.565	32,73%	2.618.446
Túneis	5	8,47%	19.383.454	30,29%	3.876.691
Avenidas	8	13,56%	10.472.476	16,36%	1.309.060
Escavação	7	11,86%	8.969.954	14,02%	1.281.422
Talude/Estrutura	1	1,69%	1.332.546	2,08%	1.332.546
Sinistros	1	1,69%	950.000	1,48%	950.000
Escavações/movimentos terra	7	11,86%	787.946	1,23%	112.564
Talude/Estrutura/Ensecadeiras	1	1,69%	576.262	0,90%	576.262
Máquina móvel	18	30,51%	550.818	0,86%	30.601
Outros	3	5,08%	30.486	0,05%	10.162
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>100%</b>	<b>64.001.507</b>	<b>100%</b>	<b>1.084.771</b>

- **Consequências ou Elementos danificados.** As consequências com maior valor médio e piores consequências em termos de perda de lucro associado estão concentradas nas avarias de equipamentos eletromecânicos. No entanto, grande porcentagem da soma dos danos materiais está concentrada principalmente em danos à construção.

Consequências Sinistros	Frequência	Soma Danos DM €	Soma Danos PB €	Valor Médio
Avaria equipamentos eletromecânicos	8	11.828.625	9.109.724	2.617.294
Danos a outras infraestruturas	10	12.131.131	0	1.213.113
Danos à construção	17	27.381.630	2.907.000	1.781.684
Rompimento de máquinas/veículos	24	643.398	0	26.808
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>51.984.783</b>	<b>12.016.724</b>	<b>1.084.771</b>

### CONCLUSÕES FINAIS

Da análise dos sinistros podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- A amostra analisada compreende um número reduzido de obras (9) e de sinistros (59), de diferente tipo e magnitude, por isso cabe levar em consideração as limitações das estatísticas apresentadas.
- Cabe destacar diferenças com relação à contratação de diferentes coberturas ou de valores dedutíveis, o que limita a informação disponível nos sinistros que aconteceram em cada obra.
- Confirma-se a relevância das etapas finais da obra durante os testes e implementação da central. Nestas etapas, a central se encontra com a maior parte da soma segurada instalada e os equipamentos são submetidos à pressão, temperatura ou energização.
- Acontecem mais sinistros nos equipamentos eletromecânicos, o que evidencia a importância de realizar um controle rigoroso da qualidade no fornecimento de material de fábrica, bem como na etapa de projeto.