



III CONGRESSO LUSO-AFRICANO DE  
Construção Metálica  
Sustentável

## Ciclo de vida da estrutura metálica. Uma visão integradora de um sistema de gestão.

Sílvio Pitra<sup>a</sup>, Pedro Santos<sup>b</sup>, Filipe Santos<sup>b</sup>

<sup>a</sup> GRINER, Avenida Pedro de Castro Van-Dúnem Loy, Academia BAI, Bloco C, 2ºEsq., Luanda, Angola

<sup>b</sup> VESAM Angola, Polo Industrial de Viana, Estrada de Catete, km 30, Viana, Angola

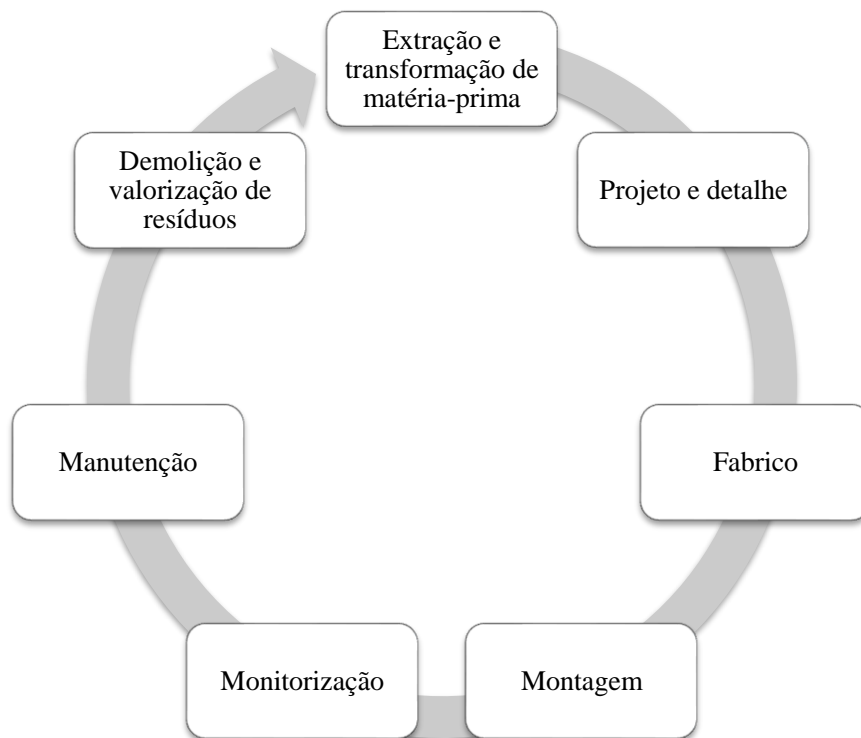
**Resumo.** A construção metálica e mista apresenta diversas vantagens que a tornam competitiva perante a construção tradicional em betão. Elementos de seção reduzida e elevada esbelteza, combinando simultaneamente uma elevada capacidade resistente e estética, controlo de qualidade superior, rapidez de execução e montagem com disponibilização imediata da estrutura para utilização, matéria-prima 100% reciclável e reutilizável, entre outras vantagens, tornam a construção metálica a solução ideal para mercados emergentes. Porém, para que esta se mantenha competitiva é necessário assegurar a sua sustentabilidade, uma vez que a utilização generalizada de materiais compósitos pode, a curto/médio prazo, ameaçar o crescimento da construção metálica. A presente comunicação aborda questões relacionadas com o ciclo de vida da estrutura metálica, apresentando um sistema de gestão integrado em fase de implementação na VESAM, o qual fornecerá informação valiosa sobre o comportamento futuro das estruturas com base no seu histórico de vida.

### 1. Introdução

A experiência da VESAM no setor da construção metálica tem crescido ano após ano. Porém, a ambição de conhecer cada vez melhor o comportamento das estruturas que projeta e fabrica levou a empresa a implementar metodologias de previsão do comportamento material e estrutural em fase de serviço.

Seguindo esta ambição, foi desenvolvido um sistema de gestão integrado da construção que permite a integração de todas as fases do ciclo de vida da estrutura metálica de modo a estimar o seu comportamento material e estrutural, no presente e no futuro, com base no seu histórico de vida passado. Espera-se assim, reduzir custos de manutenção e aumentar o tempo de vida útil das estruturas.

Em geral, o ciclo de vida típico de uma estrutura metálica pode ser dividido nas seguintes fases (Fig. 1): 1) Extração e transformação de matéria-prima; 2) Projeto e detalhe; 3) Fabrico; 4) Montagem; 5) Monitorização; 6) Manutenção; e 7) Demolição e valorização de resíduos.



**Fig. 1:** Fases do ciclo de vida de uma estrutura metálica.

Todas as estruturas são caracterizadas pela definição do seu tempo de vida útil [1]. Este período de tempo é definido pelo projetista, em função da utilização prevista para a construção, de acordo com as normas e regulamentos de dimensionamento de estruturas aplicáveis. O tempo de vida útil corresponde ao período durante o qual se pretende que uma construção, ou parte da mesma, seja utilizada para as funções a que se destina, com a manutenção prevista mas sem necessidade de grandes reparações ou reforço das suas capacidades funcionais ou resistentes. Por manutenção entende-se o conjunto de atividades realizadas de forma periódica durante o tempo de vida útil da construção a fim de permitir-lhe manter a satisfação dos requisitos de fiabilidade, ou seja, a aptidão para satisfazer os requisitos especificados na fase de projeto. A necessidade de proceder à manutenção de uma construção é devida fundamentalmente a dois fatores: 1) Deterioração dos seus materiais constituintes (deterioração material); e 2) Perda de funcionalidade ou capacidade resistente dos seus elementos estruturais, ligações e/ou acessórios (deterioração estrutural).

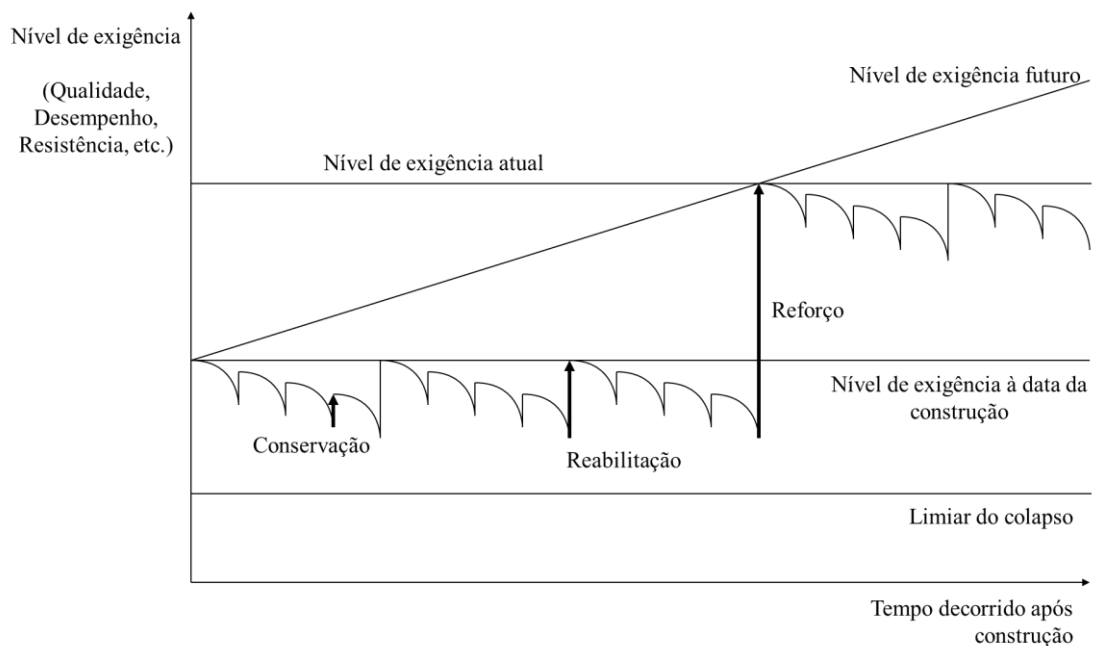
Na primeira situação enquadra-se a alteração das propriedades dos materiais devido à sua exposição a agentes de deterioração de diferente origem [2]:

- 1) Física (temperatura, humidade, ação gelo-degelo, erosão, abrasão, etc.);
- 2) Química (reações álcalis-agregado, reações sulfáticas internas, exposição química agressiva, corrosão, etc.);
- 3) Mecânica (impacto, sobrecarga, movimento, vibrações, sismo, explosão, etc.);
- 4) Biológica (fungos, algas, bactérias, vegetação, etc.); e
- 5) Eletromagnética (correntes parasitas, campos magnéticos, etc.).

Na segunda situação enquadra-se a perda de funcionalidade e/ou a perda de capacidade resistente da estrutura no global ou de alguns dos seus elementos estruturais, ligações e/ou acessórios, devido à sua incapacidade para desempenhar a função para a qual foi projetada. Exemplo disso são as juntas de dilatação que frequentemente apresentam uma perda de funcionalidade

significativa, sendo por isso alvo de manutenção frequente e periódica. Nas situações correntes, estas são concebidas com o objetivo de permitir pequenos movimentos da estrutura devido à ação da temperatura (dilatação e contração), assentamentos de apoio, ação do vento, ação da circulação de pessoas e/ou veículos, entre outros, sem que estes provoquem danos como a fissuração do revestimento dos pavimentos/paredes. Em situações não-correntes, por exemplo devido à ação do sismo, as juntas de dilatação podem ser utilizadas para permitir a deformação das estruturas sem que exista o contacto, e subsequente choque, com as estruturas em seu redor, evitando assim um dano gravoso mútuo para a sua estabilidade, segurança dos utilizadores e transeuntes que eventualmente circulem na via pública.

Pelo exposto anteriormente, conclui-se que a manutenção é uma atividade fundamental para assegurar a segurança das construções, dos seus utilizadores e de terceiros. A realização periódica da manutenção é também fundamental para garantir que a construção atinge o seu tempo de vida útil previsto na fase de projeto sem custos acrescidos além dos previstos inicialmente. A periodicidade dos trabalhos de manutenção apresenta também vantagens ao nível do controlo de custos das intervenções na construção. Verifica-se pela prática corrente que a realização de atividades de manutenção de curta duração e periodicidade reduzida implica, em geral, um menor custo comparativamente à realização das mesmas atividades mas com uma periodicidade superior (Fig. 2).



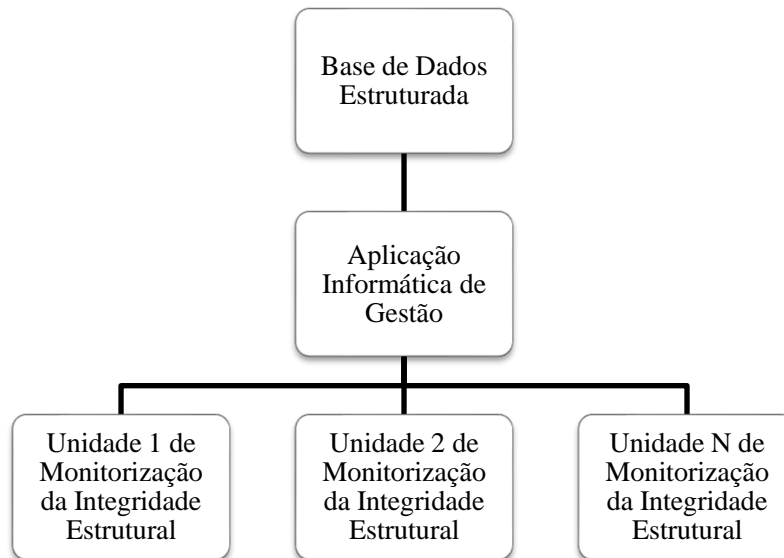
**Fig. 2:** Deterioração da construção ao longo do tempo.

Se for possível prever antecipadamente a necessidade de manutenção de uma construção, com base no seu historial de vida, é possível definir planos de intervenção específicos para serem realizados a curto, médio e longo prazo, evitando deslocações, trabalhos de inspeção, ensaios de diagnóstico, entre outros, que não produzem resultados úteis uma vez que não são necessários ou, quando muito, já foram tardiamente realizados. Para conhecer o historial da estrutura é necessário monitorizá-la continuamente [3, 4].

## 2. Sistema de gestão integrado

### 2.1 Estrutura geral

O *sistema de gestão integrado* desenvolvido, Fig. 3, é constituído por uma base de dados estruturada para armazenamento da informação, uma ou várias unidades de monitorização da integridade estrutural por obra e ainda uma aplicação informática de gestão, análise e processamento da informação.



**Fig. 3:** Estrutura geral do sistema de gestão integrado.

A *base de dados estruturada* armazena informação relevante sobre o histórico da construção, sendo continuamente atualizada com nova informação proveniente das unidades de monitorização da integridade estrutural e do dono de obra ou entidade gestora da construção, tais como:

- 1) A identificação das matérias-primas utilizadas no fabrico dos elementos da construção, a sua origem, a sua composição química, as suas características físicas e químicas, os processos de extração e transformação utilizados, entre outras;
- 2) O projeto de estabilidade estrutural, incluindo os ficheiros de modelação, as peças escritas e as peças desenhadas, originais e todas as suas subseqüentes alterações;
- 3) O projeto das diferentes especialidades técnicas, além da estabilidade estrutural, incluindo os ficheiros de modelação, as peças escritas e as peças desenhadas, originais e todas as suas subseqüentes alterações;
- 4) As técnicas e os processos de fabrico utilizados na transformação da matéria-prima, no seu estado natural ou já após transformação, para obtenção dos elementos estruturais, ligações e/ou acessórios;
- 5) As técnicas e os processos construtivos utilizados na montagem dos elementos da construção;
- 6) A identificação de todos os intervenientes na construção ao longo do seu ciclo de vida, as suas funções e intervenções;

As *unidades de monitorização da integridade estrutural* registam em tempo real a alteração de diversos parâmetros fundamentais para a caracterização do comportamento da estrutura, enviando o histórico desses parâmetros para a base de dados estruturada, incluindo por exemplo:

- 1) As condições ambientais a que a construção se encontra sujeita durante o seu ciclo de vida, incluindo a temperatura, a humidade relativa, a concentração de poluentes no ar atmosférico, a pluviosidade, a direção e intensidade do vento, entre outros;
- 2) As deformações existentes nos diversos elementos da construção durante o seu ciclo de vida, incluindo os deslocamentos, as rotações e as extensões;
- 3) As forças internas existentes nos diversos elementos da construção durante o seu ciclo de vida, ou as tensões internas instaladas;
- 4) A taxa de corrosão de elementos metálicos quando sujeitos a condições de exposição ambiental que sejam propiciadoras da existência de corrosão nas suas mais variadas formas;
- 5) O nível de utilização da estrutura, traduzido pelo número de pessoas, número e tipo de veículos, entre outros parâmetros.

A aplicação informática de gestão é responsável pela operacionalização das comunicações, gestão da informação, análise e processamento, criando alertas, relatórios e calibrando modelos de deterioração material e estrutural.

## 2.2 Base de dados estruturada

A base de dados estruturada é criada no início da fase de projeto pelo projetista ou dono de obra, num suporte digital, sendo imediatamente atualizada com informação geral acerca da construção, nomeadamente, dono de obra, localização, tipo de construção, utilização pretendida, entre outra informação relevante.

Com o desenvolvimento do projeto, a base de dados é atualizada com a identificação da equipa projetista, os documentos de projeto (peças escritas e peças desenhadas), certificados de qualidade de materiais e produtos de construção, documentos de licenciamento da construção perante as autoridades e serviços competentes, entre outra informação relevante.

Após conclusão da fase de projeto inicia-se a fase de fabrico dos elementos constituintes da construção. A base de dados é atualizada com informação relativa ao fabrico, incluindo a identificação das entidades participantes, os técnicos intervenientes, as intervenções de cada técnico em cada elemento da construção, incluindo por exemplo, a identificação dos técnicos que procedem ao corte, furação, soldadura, pintura, pré-montagem, entre outras atividades relevantes para o fabrico.

Concluída a fase de fabrico é dado início à fase de montagem. A base de dados é atualizada com informação relativa à montagem, incluindo a identificação das entidades que a realizam, os técnicos de cada entidade que participam, as intervenções dos técnicos que procedem ao transporte, posicionamento e fixação dos elementos, incluindo por exemplo, a identificação dos técnicos e equipamentos utilizados para movimentação dos elementos, realização das ligações entre elementos e/ou acessórios, entre outras atividades relevantes.

Após a conclusão da montagem, e sem prejuízo de a mesma ser iniciada antes, inicia-se a fase de monitorização da integridade estrutural da construção. Esta fase é realizada com recurso a uma ou várias unidades de monitorização da integridade estrutural, sendo a que apresenta maior dimensão temporal uma vez que será realizada durante a quase totalidade do ciclo de vida da construção.

A base de dados é constantemente atualizada, com informação proveniente das diferentes unidades de monitorização, relativamente: 1) à utilização da construção, incluindo o número de pessoas que a utilizam, o número e tipo de veículos que circulam, entre outros parâmetros; 2) às condições de exposição ambiental, incluindo a temperatura, a humidade relativa, a concentração de poluentes no ar atmosférico, a direção e intensidade do vento, entre outros parâmetros; e 3) ao seu comportamento, incluindo as deformações (deslocamento, rotação, extensão), a

força, a aceleração, a taxa de corrosão de elementos metálicos, entre outros parâmetros relevantes.

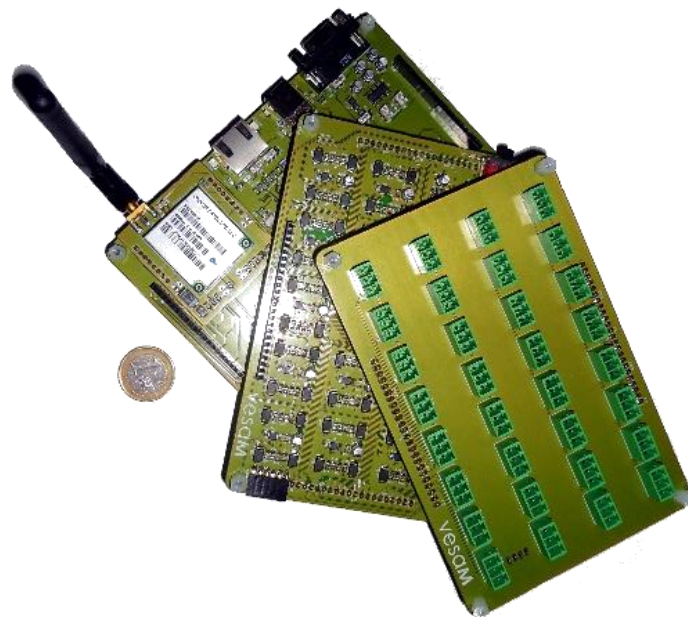
Periodicamente, podendo o período de tempo entre intervenções ser variável, são realizados trabalhos de manutenção da construção. Estes trabalhos encontram-se previstos desde o início da construção, devendo ser realizados durante o seu tempo de vida útil da construção, de modo a permitir-lhe manter a satisfação dos requisitos de fiabilidade, ou seja, a aptidão para satisfazer os requisitos especificados na fase de projeto. Em função da análise e processamento da informação existente no histórico da construção, os trabalhos de manutenção podem ser antecipados ou adiados face ao inicialmente definido. Todos os trabalhos realizados devem ser adicionados à base de dados estruturada, incluindo informação acerca das entidades que os realizam, os técnicos intervenientes, as intervenções efetuadas, entre outra informação relevante, complementando-a com informação acerca do projeto de intervenção, caso aplicável, materiais adotados e técnicas e processos construtivos utilizados.

Em função do nível de deterioração da construção, os trabalhos de manutenção podem ser substituídos por trabalhos de reparação, reabilitação ou reforço da construção com o objetivo de manter, atualizar ou incrementar os requisitos da construção, como por exemplo a sua capacidade de carga.

Em função do nível de deterioração da construção, poderá ser decidida a sua demolição devendo proceder-se à reciclagem e valorização dos resíduos da construção de modo a que estes sejam inseridos novamente no mercado e utilizados em novas construções. Todas as informações relevantes acerca das operações de demolição e valorização de resíduos da construção, incluindo entidades que a realizam, técnicos intervenientes, técnicas e processos, sem prejuízo de adicionar outras informações pertinentes, devem ser inseridas na base de dados da construção.

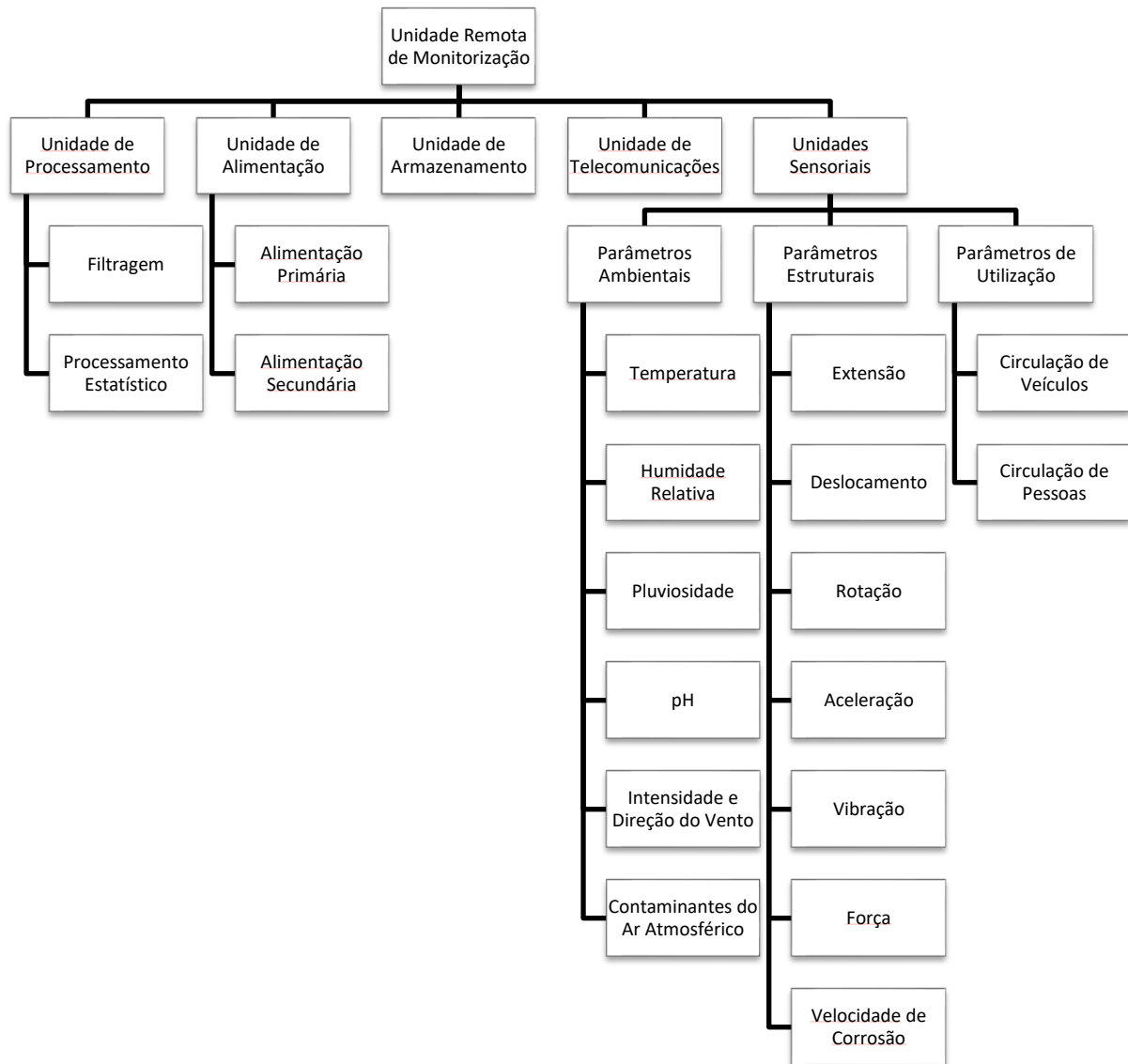
### 2.3 Unidades de monitorização da integridade estrutural

Existem no mercado diversos equipamentos que podem ser utilizados como unidades de monitorização da integridade estrutural. No caso particular da VESAM, as unidades de monitorização são constituídas pelo sistema SIGMA [5], Fig. 4, o qual foi desenvolvido internamente, encontrando-se atualmente a ser instalado em todas as estruturas projetadas e fabricadas pela VESAM.



**Fig. 4:** Sistema de monitorização da integridade estrutural (protótipo SIGMA).

Sumariamente, o SIGMA, que é a unidade remota de monitorização (Fig. 5) que é instalada na estrutura é constituída por: 1) unidade de processamento, destinada à gestão de informação e controlo dos diversos componentes; 2) unidade de alimentação, responsável pelo fornecimento de energia elétrica, diretamente da rede pública, bateria ou sistema de *energy-harvesting*; 3) unidade de armazenamento, destinada ao armazenamento de dados em suporte magnético; 4) unidade de telecomunicações, destinada a estabelecer comunicação com uma unidade local de monitorização (Fig. 6) para onde é realizado o envio dos ficheiros de monitorização com dados; e 5) diversas unidades sensoriais, que monitorizam diversos parâmetros de carácter estrutural, ambiental, serviço, etc.



**Fig. 5:** Unidade remota de monitorização (estrutura geral).

A unidade local de monitorização (Fig. 6) é responsável pelo recebimento dos ficheiros de dados provenientes das diversas unidades remotas de monitorização (Fig. 5), processamento da informação, armazenamento e determinação de parâmetros que permitam avaliar o desempenho da estrutura e calibração de modelos matemáticos de deterioração material e estrutural. Esta unidade local de monitorização encontra-se já integrada na aplicação informática de gestão.

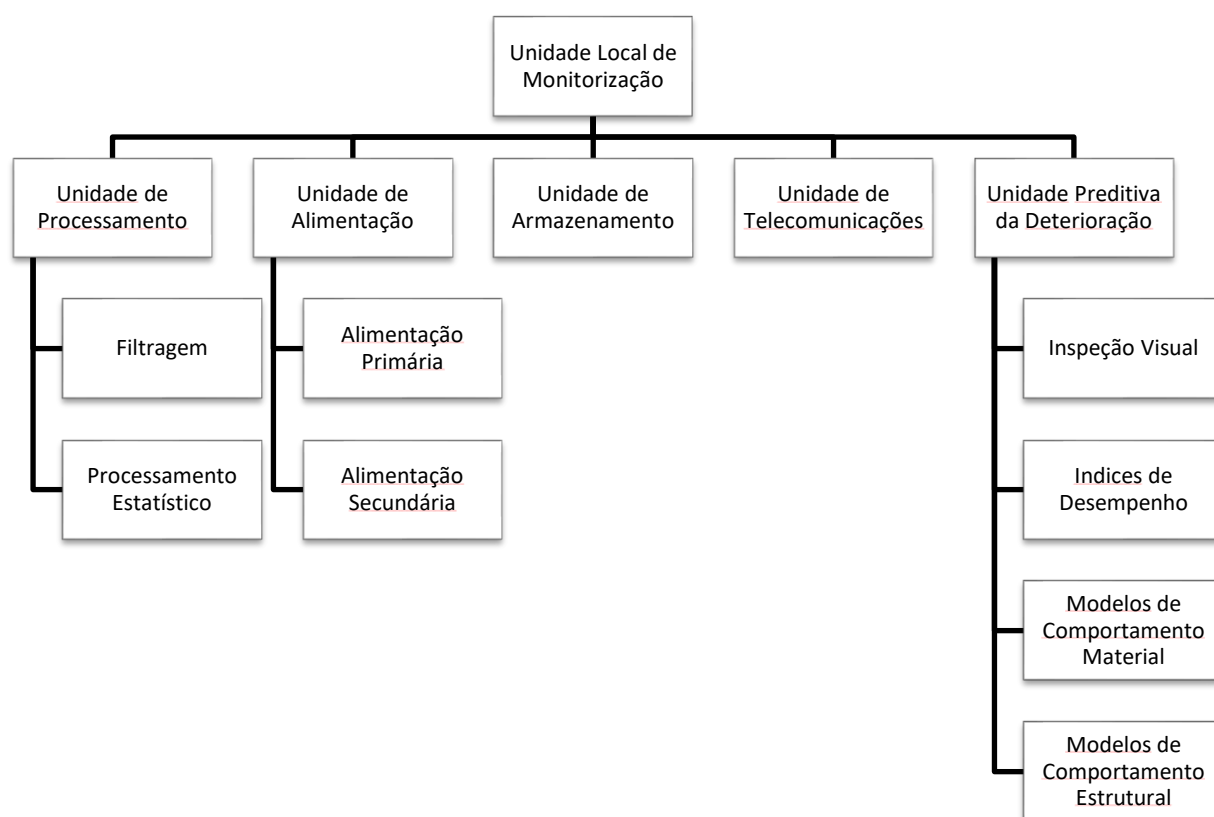


Fig. 6: Unidade local de monitorização (estrutura geral).

## 2.4 Aplicação informática de gestão

Além de operacionalizar a comunicação entre as diversas componentes do sistema de gestão integrado, a aplicação informática de gestão é responsável pela análise e processamento da informação, emissão de alertas, geração de relatórios e calibração de modelos de deterioração material e estrutural.

Com uma periodicidade apropriada e definida para cada tipo de construção, podendo ser por exemplo horária, diária, semanal, mensal ou outra, a informação existente na base de dados estruturada relativa à construção é analisada e processada pela aplicação informática de gestão, recorrendo a técnicas estatísticas, sendo determinados diversos parâmetros que permitem identificar níveis de desempenho e deterioração material e estrutural da construção.

Estes parâmetros permitem identificar, por exemplo, níveis de solicitação, níveis de tensão, níveis de deformação, entre outros. Mais, o processamento da informação permite também calibrar modelos matemáticos de deterioração material e estrutural que, por si só, permitem estimar antecipadamente o instante temporal em que a deterioração poderá iniciar-se ou estimar a sua taxa de variação. Desta forma, a deterioração no presente e futuro é prevista com base na informação do histórico da construção.

Em cada construção podem ser definidos limites mínimos e máximos para cada parâmetro calculado, sendo automaticamente emitido um alerta para o dono de obra ou entidade gestora, através do envio de uma mensagem de correio eletrónico, SMS, ou outro meio de comunicação similar, sempre que estes se encontram fora dos limites pré-definidos.



## **2.5 Cartão de identificação estrutural**

O histórico da construção que se encontra armazenado na base de dados estruturada pode também ser transferido para um suporte magnético, sendo este designado por "cartão de identificação estrutural". Este cartão contém todos os eventos relevantes relacionados com a construção durante o seu ciclo de vida, podendo ser transmitido, consultado e atualizado futuramente por diversas entidades como o dono de obra, entidade gestora, projetista, organismos públicos, entre outros.

A informação introduzida no cartão de identificação estrutural é classificada em diferentes categorias, consoante o seu nível de confidencialidade, sendo encriptada através de um algoritmo matemático que impeça o seu livre acesso, distribuição e divulgação.

O acesso sem restrições à informação armazenada é apenas permitido ao proprietário (dono da obra), tendo todos os restantes intervenientes na construção, direta ou indiretamente, diferentes permissões de acesso atribuídas por este.

O acesso à informação contida no cartão de identificação estrutural é realizado através da ligação deste a um computador utilizando uma aplicação informática específica para o efeito que garante o acesso à informação após autenticação do utilizador.

## **3. Conclusões**

Constata-se através da revisão do estado da arte que a identificação de alterações no comportamento material e estrutural é realizada frequentemente comparando apenas os valores dos parâmetros monitorizados em dois ou mais instantes temporais. Este tipo de abordagem é limitada uma vez que, por exemplo, não se encontram identificados os técnicos que efetuaram os processos de extração e transformação das matérias-primas, que realizaram o projeto, que procederam ao fabrico e montagem da estrutura, entre outras atividades. Deve ser realçado que nunca é tido em consideração todo o historial da estrutura associado ao seu ciclo de vida.

Por este motivo, considera-se que é possível proceder à monitorização da construção e à previsão da deterioração do seu comportamento material e estrutural através de uma metodologia mais fiável, baseada numa abordagem preditiva, que integra todas as fases do seu ciclo de vida e todo o seu historial. O sistema de gestão integrado descrito na presente comunicação permite ultrapassar estes inconvenientes.

Com base no sistema de gestão integrado descrito na presente comunicação, é criada uma base de dados estruturada para cada construção. Esta é atualizada continuamente durante as fases de projeto, fabrico e montagem, e durante todo o seu período de vida (em serviço) através da utilização de unidades de monitorização da integridade estrutural.

As unidades de monitorização da integridade estrutural registam diversos parâmetros relacionados com a utilização da construção, as suas condições de exposição ambiental e o seu comportamento, tais como a taxa de utilização (número de pessoas, número e tipo de veículos), a temperatura, a humidade relativa, a pluviosidade, a direção e intensidade do vento, a deformação (deslocamento, rotação, extensão), a força, a aceleração, a taxa de corrosão de elementos metálicos, entre outros.

A aplicação informática é responsável pela gestão da base de dados e das unidades de monitorização, permitindo a inserção e atualização de informação sobre as diferentes fases do ciclo de vida da construção, a análise e o processamento do histórico existente, a calibração de modelos matemáticos de comportamento material e estrutural, a criação de relatórios de histórico, a emissão de alertas para o proprietário e/ou entidade gestora, etc.

Através da análise da informação existente na base de dados, que constitui um histórico do ciclo de vida da construção, é possível calibrar modelos matemáticos que permitem estimar a deterioração material e estrutural da construção, ou seja, prever o seu comportamento no presente e no futuro com base no seu historial de vida passado.

Desta forma, é adotada uma metodologia preditiva que permite estimar, além de as identificar em tempo real, alterações do comportamento material e estrutural da construção, sendo possível controlar prematuramente a evolução da sua deterioração, planejar antecipadamente as intervenções (manutenção, reparação, reabilitação e/ou reforço) na construção e, conseqüentemente, reduzir significativamente os custos das intervenções.

## **Referências**

- [1] NP EN 1990 - Eurocódigo - Bases para o projecto de estruturas, Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [2] NP EN 1504-9 - Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 9: Princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas, Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [3] Ansari, F. - Sensing Issues in Civil Structural Health Monitoring, Springer, 2005.
- [4] Armer, G. - Monitoring and Assessment of Structures, CRC Press, 2001.
- [5] Santos, F., Jorge, B., Santos, P. - Desenvolvimento de um sistema de monitorização da integridade estrutural, IX Congresso de Construção Metálica e Mista e I Congresso Luso-Brasileiro de Construção Metálica Sustentável, Porto, Portugal, 24-25 Outubro 2013.