



Pedro Filipe da Silva Ferreira Berto

Licenciado em Engenharia Civil

Uma plataforma concetual para a integração de Realidade Aumentada e BIM nos Sistemas de Gestão de Qualidade de empresas de construção

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Doutora Fátima Farinha

Vogal: Prof. Doutor João Rocha de Almeida



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2013



Pedro Filipe da Silva Ferreira Berto

Licenciado em Engenharia Civil

Uma plataforma concetual para a integração de Realidade Aumentada e BIM nos Sistemas de Gestão de Qualidade de empresas de construção

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Doutora Fátima Farinha

Vogal: Prof. Doutor João Rocha de Almeida



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2013

‘Copyright’ Pedro Filipe da Silva Ferreira Berto, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Nuno Cachadinha, pela orientação, pela partilha de conhecimentos e disponibilidade, os quais considero que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas Ana, Miguel e Pedro pela partilha de conhecimentos, pelos pareceres construtivos e ajuda incessante durante o desenvolvimento desta dissertação.

À equipa e a todos os companheiros que dela fazem parte, pelo espírito de camaradagem e partilha de conhecimento.

À minha avó, pela ajuda e força que sempre me deu.

Aos meus pais, por tudo.

RESUMO

Um dos principais benefícios da adoção de Sistemas de Gestão de Qualidade (SGQ) por parte das empresas de construção relaciona-se com a diminuição dos custos associados à ocorrência de não conformidades (NC) ao longo dos seus projetos. No entanto, as dificuldades experimentadas pelas Pequenas e Médias Empresas (PMEs) na implementação de SGQ eficazes traduzem-se habitualmente num aumento substancial da ocorrência de NC durante os seus projetos de construção.

A ocorrência de NC durante os projetos de construção é recorrentemente associada à inadequada comunicação entre os diversos intervenientes dos processos de construção. A utilização do *Building Information Modeling* (BIM) como ferramenta de comunicação entre os diversos intervenientes da indústria da construção (IC) tem sido apontada como a resposta aos crónicos problemas de comunicação que caracterizam a indústria. Contudo, a sua utilização no contexto físico dos locais de obra continua a carecer de ferramentas que permitam a visualização da informação contida nos modelos BIM no espaço físico dos utilizadores. O rápido desenvolvimento de novas tecnologias de visualização, entre elas a Realidade Aumentada (RA), permitirá transpor toda a informação contida nos modelos BIM para o contexto físico dos locais de obra.

Assim, o presente trabalho propõe uma plataforma concetual baseada na integração de RA e modelos BIM nos SGQ das empresas de construção. O objetivo da plataforma é eliminar as deficiências e lacunas evidenciadas pelos SGQ no processo de gestão de não conformidades (GNC). Previamente ao seu desenvolvimento, os requisitos funcionais da plataforma teriam de ser estabelecidos. Deste modo, foi efetuada uma análise dos processos incluídos na GNC através da técnica *Integrated Definition for Function Modeling* (IDEF0), resultando da análise o estabelecimento dos requisitos funcionais da plataforma. Esta análise baseou-se em um caso de estudo respeitante aos processos incluídos no SGQ de uma empresa de construção portuguesa. Com os requisitos funcionais estabelecidos, foi desenvolvida a plataforma com recurso a uma abordagem de *systems thinking*.

Com a integração da plataforma proposta nos atuais SGQ perspectiva-se um aumento da eficácia dos processos incluídos na GNC, assim como uma melhor aceitação dos SGQ por parte dos intervenientes da IC.

Termos chave: *Building Information Modeling; Realidade Aumentada; Sistemas de Gestão de Qualidade; Não Conformidades*

ABSTRACT

One of the main benefits from the adoption of Quality Management Systems (QMS) by construction companies is the decrease of costs related to the occurrence of non conformances (NC) during construction projects. However, the construction industries Small and Medium Sized Enterprises (SMEs) have several difficulties in implementing effective QMS. The adoption of poor conceived QMS tend to substantially increase the number of the NC occurred during a construction project.

The occurrence of NC during construction is recurrently associated to the poor and inadequate communication between the several stakeholders in the construction industry (CI). The utilization of *Building Information Modeling* (BIM) as a communication tool by stakeholders has been singled out as the answer to the chronicle communication problems, characteristic to the industry. In spite of this, the use of BIM tools in the physical context of the jobsite is hindered by the lack of tools capable of visualizing all the information contained in BIM models in the physical space of the workers on site. The rapid development of visual technologies, among them Augmented Reality (AR), will allow for BIM to be exploited to its maximum potential, including its use on the job site.

Therefore, the present work proposes a conceptual platform based on the integration of AR systems and BIM models in the QMS used by construction companies. Its goal is to eliminate all the deficiencies and shortcoming highlighted by the QMS in the management of non conformances. Prior to its development, the platform's functional requirements had to be established. To accomplish this, the *Integrated Definition for Function Modeling* (IDEF0) technique was used to analyze the processes included in production management and establish functional requirements. With the functional requirements gathered and by applying a systems thinking approach, the platform was developed.

With the integration of the proposed platform in today's QMS, an increase in the effectiveness of the non conformances management processes is expected, as well as a better acceptance of QMS by the actors of the construction industry.

Keywords: *Building Information Modeling; Augmented Reality; Quality Management Systems; Non Conformances*

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Modeling

GNC – Gestão de Não Conformidades

HMD – Head Mounted Display

IC – Indústria da Construção

NC – Não Conformidade(s)

OST – Optical See-Through

RA – Realidade Aumentada

SaaS – Software as a Service

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

VST – Video See-Through

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	1
1.2.	PROBLEMÁTICA.....	4
1.3.	OBJETIVO DO ESTUDO	6
1.4.	QUESTÃO CENTRAL DE INVESTIGAÇÃO	6
1.5.	OBJETIVOS PARCELARES	6
1.6.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2.	ESTADO DO CONHECIMENTO.....	9
2.1.	A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	9
2.1.1.	<i>A comunicação na Indústria da Construção</i>	<i>10</i>
2.1.2.	<i>A necessidade de reduzir a quantidade de trabalhos corretivos</i>	<i>14</i>
2.1.3.	<i>A implementação de Sistemas de Gestão de Qualidade</i>	<i>14</i>
2.1.4.	<i>Controlo de qualidade – Gestão de não conformidades</i>	<i>17</i>
2.2.	O BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	18
2.2.1.	<i>Introdução ao BIM</i>	<i>19</i>
2.2.2.	<i>O BIM como ferramenta de visualização e comunicação</i>	<i>22</i>
2.3.	A REALIDADE AUMENTADA	23
2.3.1.	<i>Introdução à realidade aumentada</i>	<i>24</i>
2.4.	SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA.....	26
2.4.1.	<i>Tecnologias de projeção.....</i>	<i>27</i>
2.4.2.	<i>Tecnologias de rastreamento.....</i>	<i>31</i>
2.4.3.	<i>Tecnologias de interação.....</i>	<i>36</i>
2.4.4.	<i>Outros requisitos dos sistemas de RA.....</i>	<i>37</i>
2.4.5.	<i>Áreas de aplicação dos sistemas de RA na Indústria da Construção</i>	<i>38</i>
2.4.6.	<i>Sinergias entre BIM e RA</i>	<i>40</i>
3.	METODOLOGIA.....	43
3.1.	ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO	44
3.1.1.	<i>Seleção e caracterização do caso de estudo.....</i>	<i>45</i>
3.1.2.	<i>Recolha de dados – Levantamento de processos.....</i>	<i>46</i>
3.1.3.	<i>Modelação dos processos do caso de estudo</i>	<i>46</i>
3.1.4.	<i>Validação dos mapas IDEF0.....</i>	<i>47</i>
3.1.5.	<i>Recolha de dados – Entrevistas.....</i>	<i>47</i>

3.1.6.	<i>Análise dos mapas IDEF0 e identificação dos requisitos funcionais</i>	48
3.2.	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA “C-BIM-THRU-AR”	49
4.	ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO	51
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	51
4.2.	MODELAÇÃO E ANÁLISE DOS PROCESSOS DO CASO DE ESTUDO.....	52
4.2.1.	<i>Lista de atividades</i>	52
4.2.2.	<i>Lista de fluxos</i>	54
4.2.3.	<i>Mapa A0 – Gestão de produção de obra – Gestão de não conformidades</i> . 55	
4.2.4.	<i>Mapa A1 – Decisão sobre subempreitadas e compras</i>	56
4.2.5.	<i>Mapa A11 – Avaliação de fornecedores e subempreiteiros</i>	57
4.2.6.	<i>Mapa A12 – Controle de documentos e registros</i>	58
4.2.7.	<i>Mapa A13 – Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros</i>	60
4.2.8.	<i>Mapa A2 – Execução da empreitada</i>	62
4.2.9.	<i>Mapa A21 – Gestão de materiais</i>	62
4.2.10.	<i>Mapa A22 – Gestão da execução dos trabalhos</i>	65
4.2.11.	<i>Mapa A3 – Controle dos padrões de qualidade</i>	66
4.2.12.	<i>Mapa A31 – Gestão de materiais não conformes</i>	67
4.2.13.	<i>Mapa A32 – Gestão de trabalhos não conformes</i>	69
4.2.14.	<i>Mapa A33 – Obtenção dos padrões de qualidade contratados</i>	71
4.2.15.	<i>Mapa A4 – Receção provisória</i>	72
4.2.16.	<i>Mapa A41 – Solicitação do cliente para intervenção</i>	73
4.2.17.	<i>Mapa A42 – Realização da intervenção e respetiva verificação</i>	74
4.2.18.	<i>Mapa A43 – Requerimento do Auto de Receção Provisória</i>	76
4.2.19.	<i>Análise global do processo de GNC</i>	77
4.2.20.	<i>Validação dos mapas IDEF0</i>	78
4.3.	ADEQUAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	78
4.4.	IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS FUNCIONAIS DA PLATAFORMA	78
5.	PLATAFORMA PROPOSTA	81
5.1.	ARQUITETURA DO SISTEMA DA PLATAFORMA.....	81
5.1.1.	<i>Módulos e suas funções</i>	82
5.1.2.	<i>Sistema nuvem – Partilha de dados e informação</i>	85
5.1.3.	<i>Bases de dados</i>	86
5.1.4.	<i>Integração dos modelos virtuais</i>	89
5.1.5.	<i>Componentes tecnológicas</i>	94
5.2.	MODELAÇÃO DOS PROCESSOS DA PLATAFORMA.....	97

5.2.1.	<i>Lista de atividades</i>	98
5.2.2.	<i>Lista de fluxos</i>	99
5.2.3.	<i>Interfaces da plataforma C-BIM-thru-AR</i>	101
5.2.4.	<i>Interface C-BIM Supervisor</i>	102
5.2.5.	<i>Interface C-BIM Manager (Obra)</i>	105
5.2.6.	<i>Interface C-BIM Manager (Sede)</i>	108
5.2.7.	<i>O ciclo para a resolução de não conformidades</i>	113
5.2.8.	<i>Arquitetura da rede de canais comunicativos</i>	113
6.	DISCUSSÃO	117
6.1.	PROCESSO DE GNC BASEADO NUM SGQ TRADICIONAL.....	117
6.2.	PROCESSO DE GNC BASEADO NA PLATAFORMA C-BIM-THRU-AR	120
6.3.	MELHORIAS OBTIDAS ATRAVÉS DA PLATAFORMA PROPOSTA	129
7.	CONCLUSÕES	131
7.1.	RESPOSTA À QUESTÃO CENTRAL DE INVESTIGAÇÃO	131
7.2.	CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO.....	132
7.2.1.	<i>Contribuições a nível académico</i>	132
7.2.2.	<i>Contribuições para os profissionais da indústria</i>	133
7.3.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	134
7.4.	PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS	135
8.	BIBLIOGRAFIA	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Classificação das causas dos trabalhos corretivos	2
Figura 1.2 - Modelo dos meios comunicativos atuais do setor AEC	5
Figura 2.1 - Meios atuais para a partilha de informação na gestão de produção.....	11
Figura 2.2 - Aumento do número de canais comunicativos com o aumento de participantes.....	13
Figura 2.3 – Utilização de BIM durante o ciclo de vida de um empreendimento	19
Figura 2.4 – Características físicas e funcionais representadas num modelo BIM	20
Figura 2.5 – Dimensão 4D representada num modelo BIM.....	21
Figura 2.6 – Dimensão 5D representada num modelo BIM.....	21
Figura 2.7 – Comunicação e partilha de informação interativa através do BIM	22
Figura 2.8 – Sobreposição de elementos virtuais sobre a vista real do utilizador	23
Figura 2.9 – Esquema do primeiro protótipo de um sistema de RA.....	24
Figura 2.10 – Espectro realidade – virtualidade.....	25
Figura 2.11 – Esquema comparativo entre RV e RA	25
Figura 2.12 – Dispositivo <i>optical see-through</i> com recurso a HMD	27
Figura 2.13 – Dispositivo <i>video see through</i> com recurso a HMD	28
Figura 2.14 – Princípio de funcionamento dos dispositivos OST	28
Figura 2.15 – Princípio de funcionamento dos dispositivos VST	29
Figura 2.16 – Dispositivos baseados em projetores	29
Figura 2.17 – Princípio de funcionamento de dispositivos <i>see-through</i> baseados em monitores ..	30
Figura 2.18 – Utilização de <i>tablets</i> para visualizar a RA	30
Figura 2.19 – Utilização de <i>smartphones</i> para visualizar a RA	31
Figura 2.20 – Utilização de portáteis ultra leves para visualizar a RA.....	31
Figura 2.21 – Estrutura de um sistema de rastreamento mecânico	32
Figura 2.22 – Estrutura de um giroscópio	33
Figura 2.23 – Estrutura de um acelerómetro	33
Figura 2.24 – Imagens digitais sobrepostas sobre os seus marcadores associados	34
Figura 2.25 – Rastreamento de objetos virtuais com auxílio de marcadores naturais.....	34
Figura 2.26 – <i>Tangible interfaces</i>	36
Figura 2.27 – Interação com RA através de um dispositivo <i>Haptic</i>	37
Figura 2.28 – Sistema interpreta gestos da mão e mostra um teclado virtual	37
Figura 2.29 – Sistema AR4BC	41
Figura 2.30 – Sistema AR4BC	41
Figura 2.31 – Sistema <i>iHelmet</i> a projetar informação digital.....	42
Figura 3.1 – Fases do desenvolvimento de um sistema.....	43

Figura 3.2 – Passos da metodologia.....	44
Figura 3.3 – Passos da análise do caso de estudo	45
Figura 3.4 – Estrutura de decomposição dos mapas IDEF0	47
Figura 3.5 – Estrutura característica de uma <i>Gap Analysis</i>	48
Figura 3.6 – Passos para o desenvolvimento da plataforma	49
Figura 4.1 – Modelo de contexto	52
Figura 4.2 – Gestão de produção – Gestão de não conformidades	56
Figura 4.3 – Decisão sobre subempreitadas e compras.....	57
Figura 4.4 – Avaliação de fornecedores e subempreiteiros	57
Figura 4.5 – Controle de documentos e registos	59
Figura 4.6 – Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros	60
Figura 4.7 – Execução da empreitada	62
Figura 4.8 – Gestão de materiais.....	63
Figura 4.9 – Gestão da execução de trabalhos	65
Figura 4.10 – Controle dos padrões de qualidade	67
Figura 4.11 – Gestão de materiais não conformes	68
Figura 4.12 – Gestão de trabalhos não conformes	69
Figura 4.13 – Obtenção dos padrões de qualidade contratados	71
Figura 4.14 – Receção provisória	73
Figura 4.15 – Solicitação do cliente para intervenção	73
Figura 4.16 – Realização da intervenção e respetiva verificação	75
Figura 4.17 – Requerimento do auto de receção provisória.....	76
Figura 4.18 – Requisitos funcionais necessários a uma partilha de dados eficaz	79
Figura 4.19 – Requisitos funcionais necessários a uma recolha de dados eficaz.....	79
Figura 5.1 – Arquitetura do sistema da plataforma.....	82
Figura 5.2 – Exemplo da interface C-BIM <i>Supervisor</i> a desempenhar a função de supervisão	83
Figura 5.3 – Exemplo da interface C-BIM <i>Manager</i> a desempenhar a função avaliação	84
Figura 5.4 – Mecanismo de controlo de acesso às bases de dados	86
Figura 5.5 – Formato da notificação de ocorrência inserido na interface C-BIM <i>Supervisor</i>	87
Figura 5.6 – Formato do relatório de ocorrência inserido na interface C-BIM <i>Manager</i>	88
Figura 5.7 – Modelo Depósito inserido na interface C-BIM <i>Supervisor</i>	90
Figura 5.8 – Modelo <i>Ocorrências</i> inserido na interface C-BIM <i>Manager</i>	91
Figura 5.9 – Modelo Correções inserido na interface C-BIM <i>Supervisor</i>	92
Figura 5.10 – Modelo <i>As built</i> inserido na interface C-BIM <i>Manager</i>	92
Figura 5.11 – Modelo <i>Concluído</i> inserido na interface C-BIM <i>Manager</i>	93
Figura 5.12 – Modelo <i>Finalizado</i> inserido na interface C-BIM <i>Manager</i>	94
Figura 5.13 – Componentes tecnológicos do módulo C-BIM <i>Supervisor</i>	95

Figura 5.14 – Componentes tecnológicos do módulo C-BIM <i>Manager</i>	96
Figura 5.15 – Modelo de contexto da plataforma proposta	97
Figura 5.16 – Interfaces da plataforma C-BIM- <i>thru-AR</i>	101
Figura 5.17 – Interface C-BIM <i>Supervisor</i>	102
Figura 5.18 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Supervisor</i>	103
Figura 5.19 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Supervisor</i>	104
Figura 5.20 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Supervisor</i>	105
Figura 5.21 – Interface C-BIM <i>Manager (Obra)</i>	106
Figura 5.22 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Obra)</i>	107
Figura 5.23 - Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Obra)</i>	108
Figura 5.24 – Interface C-BIM <i>Manager (Sede)</i>	109
Figura 5.25 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Sede)</i>	110
Figura 5.26 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Sede)</i>	110
Figura 5.27 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Sede)</i>	111
Figura 5.28 – Funcionalidade da interface C-BIM <i>Manager (Sede)</i>	112
Figura 5.29 – Ciclo da resolução de não conformidades	113
Figura 5.30 – Arquitetura da rede de canais de comunicação	114
Figura 6.1 – Processo de resolução de NC consoante as diretrizes de um SGQ tradicional	117
Figura 6.2 – Processo de resolução de uma NC com recurso à plataforma C-BIM- <i>thru-AR</i>	121
Figura 6.3 – Interface C-BIM <i>Supervisor</i> a desempenhar função de Supervisão	121
Figura 6.4 – Interface C-BIM <i>Supervisor</i> a recolher informação digital do local de obra	122
Figura 6.5 – Receção da notificação de ocorrência através da interface C-BIM <i>Manager</i>	123
Figura 6.6 – Função de avaliação da interface C-BIM <i>Manager</i>	123
Figura 6.7 – Primeira fase de um relatório de ocorrência	124
Figura 6.8 – Manipulação interativa dos modelos através da interface C-BIM <i>Manager</i>	125
Figura 6.9 – Consulta de medidas corretivas adotadas anteriormente	125
Figura 6.10 – Formato de um Relatório de Ocorrência	126
Figura 6.11 – Interação com cliente através da interface C-BIM <i>Manager</i>	126
Figura 6.12 – Participação interativa do cliente através da interface C-BIM <i>Manager</i>	127
Figura 6.13 – Medidas apresentadas em obra através da interface C-BIM <i>Supervisor</i>	127

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Adequação das tecnologias de rastreamento às características do local de obra.....	36
Quadro 2.2 – Tarefas que podem beneficiar com a utilização de sistemas de RA.....	39
Quadro 6.1 – Quadro comparativo dos processos	130

1. INTRODUÇÃO

O setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) desempenha um importante papel na economia Europeia. É responsável por aproximadamente 10% do Produto Interno Bruto (PIB) e sustenta vinte milhões de postos de trabalho. O setor é um dos maiores consumidores de produtos intermediários (matérias primas, químicos, equipamento elétrico e eletrônico, etc.) e dos seus serviços relacionados. Devido à sua importância na economia Europeia, o desempenho do setor pode influenciar significativamente o desenvolvimento da economia em geral (Europeia, 2012).

A Indústria da Construção (IC) caracteriza-se por organizações temporárias onde diferentes intervenientes estão envolvidos e onde é indispensável um alto nível de colaboração, que está longe de ser alcançado (Alshawi e Ingirige, 2003). Devido à natureza dinâmica dos projetos de construção, um complexo padrão de comunicação é criado, tornando a interação entre as diferentes equipas e profissões uma tarefa de complexa gestão (Wikforss e Löfgren, 2007). Estes traços da IC dificultam a melhoria da eficácia e eficiência dos atuais processos de produção da indústria. Estudos sugerem que a melhoria mais significativa nos processos da IC relaciona-se com o aumento da eficácia da comunicação entre os diversos participantes da indústria (Fischer e Kunz, 2004). A implementação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nos processos da gestão de produção é considerada fundamental para aumentar a fraca produtividade da indústria.

As TIC começam a trabalhar com uma vasta gama de novas ferramentas de base informática para suporte da IC. O desenvolvimento destas tecnologias - particularmente aquelas associadas com *Building Information Modelling* (BIM) – tem fornecido às empresas de construção ferramentas capazes de melhorar a eficácia e eficiência da gestão dos projetos de construção. Contudo, a implementação destas soluções tecnológicas tem sido feita a um ritmo bastante lento (Fischer e Kunz, 2004).

1.1. Motivação

A implementação de Sistemas de Gestão de Qualidade (SGQ), baseados na norma ISO 9001, nas empresas de construção tem provado ser uma mais-valia na obtenção dos índices de produtividade e dos padrões de qualidade desejados pela IC (Dissanayaka *et al.*, 2001) (Love e Li, 2000). No entanto, a crescente complexidade dos processos da construção e a excessiva documentação exigida para o cumprimento das diretrizes da norma ISO 9001, levam as Pequenas e Médias Empresas (PMEs) a não experimentarem uma melhoria dos seus índices de produtividade, mas sim um decréscimo destes (Dissanayaka *et al.*, 2001; Kwok, 1997). Além do mais, o controlo de qualidade nas PMEs é geralmente visto como um processo excessivamente burocrático e responsável pelo aumento dos já elevados custos administrativos (Cachadinha, 2009).

Um dos focos dos SGQ relaciona-se com a gestão de não conformidades (GNC) devido ao peso que estas representam no valor final dos contratos dos projetos de construção. A ocorrência de não conformidades (NC) origina elevadas quantidades de trabalhos corretivos, sendo estes identificados como o fator que mais contribui para as derrapagens orçamentais e atrasos nos prazos, verificados nos projetos de construção (Love, 2002). Tanto assim, que Josephson e Hammarlund (1999) concluem que até 12,4% dos custos da construção são desperdiçados em trabalhos corretivos.

A implementação de SGQ na IC foi uma das soluções encontradas pela indústria para tentar aliviar o peso dos custos associados a NC. Aliás, um SGQ implementado eficazmente é capaz de praticamente eliminar a ocorrência de NC durante um projeto de construção (Love e Li, 2000). Por sua vez, um SGQ implementado deficientemente pode provocar um aumento substancial de NC. Tanto que, os custos dos respetivos trabalhos corretivos podem duplicar quando comparados com o peso destes em projetos sem SGQ implementado (Abdul-Rahman, 1995; Nylén, 1996). Isto não se colocaria como problema se os SGQ fossem, por norma, implementados eficazmente nas empresas. No entanto, Love *et al.*, (2004) verificaram que estes são normalmente implementado deficientemente na IC.

Love *et al.*, (1997) classificaram as causas da ocorrência de NC e respetivos trabalhos corretivos em três grupos: Pessoas, Projeto e Construção, tal como ilustrado na Figura 1.1. O grupo Pessoas é responsável por 60% dos custos associados aos trabalhos corretivos. Isto deve-se à ocorrência de NC durante os projetos de construção estar frequentemente relacionada com a elaboração de documentação errónea e à inadequada comunicação entre os diversos intervenientes dos processos de construção (Nylén, 1996).

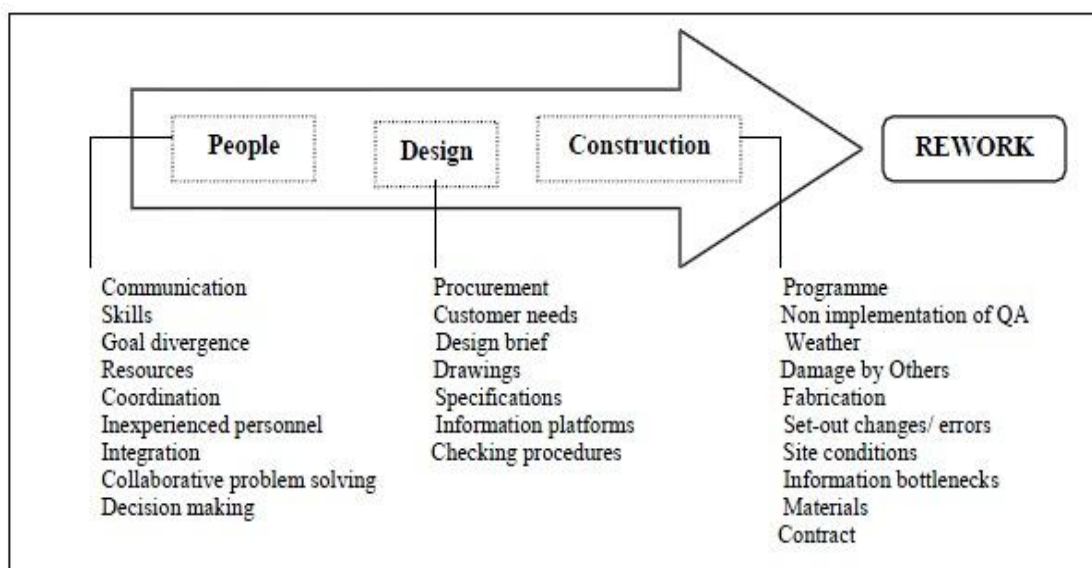


Figura 1.1 – Classificação das causas dos trabalhos corretivos (Love *et al.*, 1997)

O processo de GNC, à semelhança de outros, é um processo de intensa troca de informação (Love *et al.*, 1996). Tipicamente, informação essencial para a tomada de decisões é transmitida incorretamente e/ou tardiamente (Josephson e Hammarlund, 1999). Esta condicionante é normalmente exacerbada pela falta de sistemas de informação integrados e sistemáticos para suporte das atividades da GNC (Love e Irani, 2003). Para além disso, os canais de comunicação tradicionais – baseados em desenhos bidimensionais (2D) e outros documentos em formato de papel – retiram aos intervenientes da gestão de produção a capacidade de alterar, em tempo oportuno, a gestão de obra (Huang *et al.*, 2002). Ambas as condicionantes descritas são típicas das abordagens tradicionais utilizadas na atual gestão de construção. Estas abordagens têm sido amplamente criticadas, devido a não melhorarem a produtividade da construção (Love *et al.*, 1996). A utilização de TIC é uma das áreas em que a concentração de esforços poderá revelar-se útil à IC, pois a sua utilização possibilita o decréscimo do tempo de recolha e processamento de dados, e do tempo de comunicação da informação correspondente (Peansupap e Walker, 2005).

Diversos estudos demonstram os benefícios da utilização de TIC. Na IC as TIC são consideradas ferramentas essenciais para a melhoria da comunicação dos processos da construção. Primeiro, as TIC podem suportar a integração de informação. Desta integração resulta uma redução do volume de informação processada e uma redução da reintrodução de dados ao transmitir a informação através de Internet e/ou Intranet (Sriprasert e Dawood, 2002). Segundo, o uso de TIC pode aumentar a colaboração na IC ao suportar a comunicação e a partilha de informação e documentos entre diferentes intervenientes de diferentes equipas, particularmente quando se encontram em diferentes áreas geográficas (Abudayyeh *et al.*, 2001).

Wang (2008) acrescenta que as TIC podem fornecer ferramentas informáticas capazes de proporcionar uma gestão mais eficaz de todo o processo de GNC, visto este depender fortemente da recolha e partilha de informação. Aliás, a capacidade de integrar e partilhar informação e a facilidade de comunicação promovida pela utilização de TIC, pode revelar-se uma solução apropriada para eliminar as causas para ocorrência de NC anteriormente referidas (ineficaz partilha de informação e inadequada comunicação). Entre as diversas TIC, as tecnologias visuais podem providenciar uma comunicação e partilha de informação mais eficazes entre os intervenientes dos processos da gestão de produção, particularmente aos que participam em processos baseados numa elevada partilha de informação (Liston *et al.*, 2000).

As tecnologias visuais que atualmente mais se destacam são as ferramentas BIM e os sistemas de Realidade Aumentada (RA). Ao aliar a componente visual proporcionada pela RA, com a elevada quantidade de informação contida nos modelos BIM, estas tecnologias podem melhorar substancialmente a comunicação e partilha de informação dos intervenientes da IC (Sacks *et al.*, 2010). Tanto que, Wang e Love (2012) propõem uma nova era de TIC na IC através da integração do BIM e RA, onde a informação digital do projeto é projetada no local de obra de um modo completamente digital. Esta integração poderá trazer largos benefícios aos processos atuais de

gestão de obra, devido à valência que o BIM proporciona em agregar elevadas quantidades de informação nos seus modelos (Chelson, 2010), e devido às capacidades da RA, de não só transpor os modelos BIM para o contexto físico da obra (Wang e Love, 2012), mas também recolher informação em tempo real do local de obra.

A RA é a integração de informação digital a visualização do mundo real (Azuma, 1997), assim sendo, em paralelismo com o BIM, permite comparar o modelo real (realizado) com o modelo virtual (previsto) em tempo real (Golparvar-Fard *et al.*, 2009). A utilização destas tecnologias em concordância com os atuais SGQ poderá trazer largos benefícios aos processos da construção, particularmente à GNC.

1.2. Problemática

A GNC desempenha um papel fundamental na IC (Wang, 2008). No entanto, a adoção das normas ISO 9001 por parte da IC tem sido lenta quando comparada com as indústrias de manufatura. Isto deve-se, particularmente, à natureza não estacionária da produção na Construção, à ausência de uma filosofia de produção específica na mesma, e à natureza conservadora e tradicional dos seus intervenientes (Cachadinha, 2009). Para além disso, tem-se vindo a assistir a uma crescente complexidade de processos nesta indústria. Este aumento resulta necessariamente num aumento nos custos administrativos e na quantidade de informação a gerir, por forma a implementar eficazmente as referidas normas (Tang *et al.*, 2005). Por forma a facilitar esta adoção, os processos de produção - particularmente a GNC - necessitam de sistemas ou ferramentas tecnológicas capazes de fornecer (Penã-Mora e Dwivedi, 2002):

- Uma eficaz partilha de informação;
- Ferramentas que permitam uma análise eficaz de dados;
- Um meio colaborativo eficaz;
- Acesso a toda a informação relevante de diferentes dispositivos e locais;
- Uma partilha de informação imune a interpretações incorretas por parte dos diferentes intervenientes.

Diversos sistemas têm sido desenvolvidos para auxiliar o processo de GNC, desde sistemas que incluem tecnologia RFID (Wang, 2008), PDA's (Kim *et al.*, 2008), *laser scanners* (Yu *et al.*, 2007) e RA (Park *et al.*, 2013). Contudo, nenhum dos sistemas considera suficientemente os requisitos identificados por Penã-Mora e Dwivedi (2002). Por forma a melhorar a GNC e reduzir os problemas que afetam a implementação das normas ISO 9001 é necessária uma abordagem que redesenhe os atuais processos de comunicação e partilha de informação, representados na Figura 1.2.

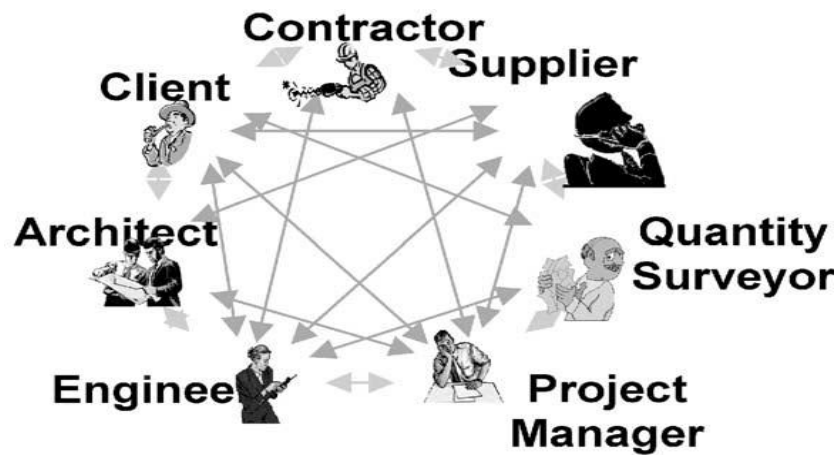


Figura 1.2 - Modelo dos meios comunicativos atuais do setor AEC (Dawood *et al.*, 2002)

O BIM revela ser uma ferramenta capaz de melhorar a comunicação e coordenação na IC (Sacks *et al.*, 2010). Em contraste com os canais de comunicação tradicionais utilizados no local de obra, o BIM consegue suportar e fornecer a visualização dos processos dos projetos da construção (Chelson, 2010). No entanto, os esforços na exploração nas áreas da comunicação em tempo real através do BIM, da integração do BIM no local de obra e da interação do BIM com as equipes em obra, revelam-se até a data insuficientes (Wang e Love, 2012).

Em resposta ao déficit existente, um número limitado de estudos propõe a integração dos modelos BIM no contexto físico da obra através de aplicações de RA (Woodward *et al.*, 2010) (Yeh *et al.*, 2012). A totalidade destes estudos propõe a projeção dos modelos BIM em obra através de aplicações de RA por forma a fornecer aos trabalhadores no local de obra toda a informação contida nos modelos. Porém, a falta de ferramentas e interfaces de simples acesso e utilização, restringe a utilização destes sistemas. Como consequência os trabalhadores podem optar por continuar a utilizar meios comunicativos tradicionais (Peansupap e Walker, 2005).

Posto isto, o desenvolvimento do presente estudo pretende preencher as seguintes lacunas identificadas:

- Implementação ineficaz de SGQ nas empresas de construção;
- Inexistência de ferramentas de comunicação capazes de proporcionar uma comunicação e partilha de informação eficaz entre intervenientes, particularmente quando separados geograficamente;
- Déficit existente de plataformas capazes de integrar eficazmente o BIM na realidade do local de obra;
- Escassez de ferramentas de utilização e acesso simples que integrem BIM e RA e sejam capazes de promover uma aceitação generalizada dos trabalhadores.

1.3. Objetivo do estudo

Para tentar responder aos problemas levantados anteriormente, esta dissertação propõe uma plataforma conceptual, *C-BIM-thru-AR*, onde o BIM e a RA são integrados como braço tecnológico dos atuais SGQ.

O principal objetivo da plataforma é eliminar as deficiências e lacunas evidenciadas pelos SGQ durante o processo de GNC. Nomeadamente, a plataforma almeja melhorar a eficácia e eficiência dos processos da GNC ao funcionar como único meio oficial de comunicação, e de recolha e partilha de informação entre todos os intervenientes do processo, reduzindo a burocracia e custos adicionais inerentes à implementação de SGQ neste processo.

1.4. Questão central de investigação

Prevê-se que com uma forte ferramenta de visualização como a RA aliada ao BIM, este consiga atingir toda a sua potencialidade para resolução dos problemas associados à GNC. Para alcançar este objetivo é necessário identificar claramente as causas dos problemas da GNC e a capacidade destas tecnologias em as suprimir. Assim sendo, a presente dissertação pretende responder à seguinte questão central de investigação:

- Quais os requisitos funcionais duma plataforma que integre o BIM e a RA, por forma a eliminar as deficiências e lacunas evidenciadas pelos SGQ tradicionais durante o processo de GNC, e que facilitem o cumprimento dos requisitos da norma ISO 9001?

1.5. Objetivos parcelares

Por forma a tornar a plataforma viável, é necessário efetuar uma análise aos atuais processos de GNC, averiguar as características dos sistemas de RA e examinar a aplicabilidade do BIM e RA na GNC. Deste modo, consideraram-se os seguintes objetivos parcelares:

- Identificar as capacidades e limitações dos sistemas de RA;
- Analisar as interações entre o BIM e a RA;
- Através de um caso de estudo, identificar deficiências e lacunas de SGQ implementados em PME's no processo de GNC;
- Definir os requisitos funcionais necessários da plataforma, por forma a responder às deficiências e lacunas do SGQ analisado;
- Desenvolver uma estratégia para integração do BIM e da RA nos processos da GNC;
- Discutir a generalização dos resultados obtidos.

Com o cumprimento dos objetivos, será dada a resposta à questão central de investigação.

1.6. Estrutura da dissertação

A presente dissertação contempla uma estrutura dividida em sete capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma introdução ao tema, onde se apresentam os princípios motivadores do estudo e definem-se os objetivos a atingir. No segundo capítulo é realizada uma revisão do estado atual da IC, uma revisão tecnológica do BIM e dos sistemas de RA, e estudada a aplicabilidade destas tecnologias à IC. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para recolha e análise de dados, e para o desenvolvimento da plataforma C-BIM-*thru*-AR. O quarto capítulo refere-se à exposição do caso de estudo realizado. Este incide sobre o processo de GNC e inclui o levantamento dos seus processos e identificação das suas deficiências e lacunas. No quinto capítulo, é apresentada a plataforma proposta com base nas conclusões retiradas do caso de estudo. No sexto capítulo procede-se à discussão dos potenciais benefícios impostos pela integração da plataforma proposta no processo de GNC. O sétimo capítulo contempla a conclusão, limitações do estudo e futuros campos de pesquisa.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

O setor AEC tem-se tornado cada vez mais importante na economia mundial e a sua relevância irá continuar no futuro. Em todos os países existe um grande impacto deste setor no bem-estar dos seus cidadãos devido aos produtos realizados pelo setor: edifícios, abastecimentos de águas e energia, sistemas de esgotos, construções, desenvolvimentos urbanísticos, instalações industriais, infraestruturas e redes de transporte. Todos estes produtos produzidos pelo setor AEC suportam todos os outros setores económicos, tanto públicos como privados (Europeia, 2012). De acordo com o último relatório de estatística anual publicado pela Federação da Indústria Europeia da Construção (FIEC), na União Europeia (UE27) houve em 2011 um investimento na construção estimado em 1,208 biliões de euros, representando cerca de 9,6% do Produto Interno Bruto (PIB) europeu. Cerca de 14,6 milhões de pessoas trabalham no setor, representando 7% do emprego total na Europa. O papel fundamental do setor pode ser melhor compreendido se se considerar que quarenta e quatro milhões dos trabalhadores da UE27 dependem, direta ou indiretamente, dele (FIEC, 2013). A somar a isto, as atividades da construção consomem grandes quantidades de matérias-primas, seis toneladas *per capita* anualmente. O consumo energético dos edifícios corresponde a 45% do total europeu, além de um consumo de 5 a 10% referente ao processamento e transporte dos materiais da construção (E-CORE, 2005; ECTP, 2005).

Apesar do referido, a IC continua a depara-se com inúmeros desafios, visto ter sido forçada a diversas mudanças e a incorporar novas tecnologias nos processos da construção de modo a ganhar nova vantagem competitiva no mercado (Abduh e Skibniewski, 2004). De acordo com a FIATECH (FIATECH, 2013), a indústria atrasa-se em relação às indústrias da manufatura e dos transportes na adoção da automatização dos seus processos e do uso de TIC. O papel exato das TIC na construção continua incerto. Esta incerteza advém da contínua mudança da tecnologia e as inúmeras tentativas de utilização de tecnologias por parte do setor AEC (O'Brien e Al-Soufi, 1994). Apesar do crescimento exponencial do uso de Internet em várias áreas de negócio e comércio no final da década de 90, a atual IC não tem mantido o mesmo crescimento notado nessa década. Existem relatórios sobre a relação entre o investimento na tecnologia e dos ganhos na produtividade nos setores da manufatura, banca e seguros. Contudo, nenhuma investigação de fundo foi feita para compreender as potencialidades, presentes e futuras, da adaptabilidade da tecnologia por parte da IC (Hewage *et al.*, 2008).

2.1. A Indústria da Construção

A natureza tradicional da IC envolve juntar diversas disciplinas e participantes de várias organizações num único projeto de construção. Naturalmente, todo este processo exige um elevado nível de colaboração e coordenação (Isikdag e Underwood, 2010). No entanto, a natureza

fragmentada da indústria torna a coordenação, colaboração e comunicação entre os diversos intervenientes da IC extremamente ineficaz e ineficiente (Howard *et al.*, 1989). Além do mais, o elevado grau de fragmentação, característico da indústria, tem impactos negativos sobre a indústria, tais como (Dawood *et al.*, 2002):

- Baixa produtividade;
- Derrapagens orçamentais;
- Não cumprimento de prazos contratuais;
- Conflitos e disputas que resultam frequentemente em litígios.

Estes impactos são os principais responsáveis pelos problemas relacionados com a falta de planeamento, estipulação de prazos exequíveis, gestão de materiais ou controlo de qualidade, todos considerados como problemas crónicos da indústria (Alwi *et al.*, 2001). Dawood *et al.*, (2002) afirmam que dois terços destes problemas são causados pela inadequada coordenação e pela ineficiência dos atuais meios de comunicativos utilizados para a partilha de dados e informação. Esta questão é exacerbada pelo facto de a IC ser considerada uma indústria de intensa troca de informação, estando o sucesso de um projeto dependente da disponibilidade, em tempo oportuno, de dados precisos (Love *et al.*, 1996).

Durante a fase de implementação de um projeto, elevadas quantidades de informação são produzidas, processadas e armazenadas. Esta informação deve ser disponibilizada aos profissionais da construção de modo a facilitar a tomada de decisões. Portanto, as exigências de meios eficientes para a recolha de dados, para o processamento de informação e para o seu acesso em tempo oportuno estão a intensificar-se (Ahmad *et al.*, 1995). No entanto, a natureza tradicional da IC é bastante centrada na elaboração de documentos, onde a informação de projeto é predominantemente registada em documentos em formato de papel que não contribuem para uma eficaz partilha de informação (Sacks *et al.*, 2010). Além do mais, a informação produzida ao longo dos projetos de construção é bastante rica e multidimensional. Assim, pode afirmar-se que a integração entre a informação com elevado grau de complexidade com o formato da documentação tipicamente escolhido pela indústria, resulta invariavelmente na criação de barreiras na comunicação e coordenação entre os seus diversos intervenientes. Por sua vez, estas barreiras afetam significativamente a eficiência e o desempenho da indústria (Isikdag e Underwood, 2010).

2.1.1. A comunicação na Indústria da Construção

No ambiente da IC, os canais tradicionais de comunicação para a transferência de informação baseiam-se em documentos e gráficos de duas dimensões (2D) em formato de papel, apesar de argumentar-se que são meios de comunicação insuficientes (Chelson, 2010; Sacks *et al.*, 2010). Normalmente, estes meios obrigam ao desperdício de tempo, ou na reunião de informação apropriada ou no fornecimento de informação redundante, i.e., duplicação de documentos, dema-

siada informação para os intervenientes interpretarem e informação insuficiente para a tomada de decisões críticas (Love *et al.*, 1996).

Presentemente, o processo para a tomada de decisões durante a produção de obra, ocorre em reuniões de coordenação realizadas no local de obra com os diversos intervenientes de várias especialidades. Nestas reuniões, os meios comunicativos utilizados têm de ser capazes de fornecer informação de um modo simples e rápido (Golparvar-Fard *et al.*, 2009). Atualmente, nenhum dos meios comunicativos existentes (i.e., curvas de progresso, diagramas de *Gantt*, fotografias, documentos textuais, desenhos 2D) apresentam ou visualizam informação eficazmente (Lee e Peña-Mora, 2006). Aliás, a informação representada por estes meios resulta vulgarmente em quantidades excessivas de informação partilhada ineficientemente durante as reuniões (Koo e Fischer, 2000). Como resultado, os participantes desperdiçam tempo a descrever o conteúdo da informação, os problemas que estão a tentar apontar ou o porquê das decisões tomadas, em vez de avaliar alternativas e discutirem cenários possíveis ou medidas corretivas (Golparvar-Fard *et al.*, 2006). Isto deve-se ao facto dos atuais meios fornecerem basicamente representações textuais, tornando difícil a compreensão e avaliação da situação atual de um projeto de construção.

A informação produzida durante as reuniões de gestão de obra é frequentemente utilizada em múltiplas áreas funcionais do processo da construção por múltiplas organizações envolvidas num determinado projeto. Em alguns casos, são produzidos dados informaticamente que têm de ser reformatados antes de serem partilhados e reutilizados. Isto resulta em incorretas interpretações ou perda de informação (Dawood *et al.*, 2002). Apesar de vários autores afirmarem a sua ineficiência (Chelson, 2010; Sacks *et al.*, 2010), a partilha desta informação com os trabalhadores em obra continua a ser feita manualmente, com recurso a documentos em formato de papel (Dawood *et al.*, 2002). Na Figura 2.1 encontra-se representada as interações promovidas pelos atuais meios para a partilha de informação entre os responsáveis da gestão de produção e os intervenientes ao nível operacional (em obra). Estes levam, invariavelmente, a perda de informação (Weippert *et al.*, 2003).



Figura 2.1 - Meios atuais para a partilha de informação na gestão de produção, adaptado de Weippert *et al.* (2003)

Um estudo realizado recentemente sobre as práticas de partilha de informação entre ambientes de escritório e local de obra, demonstra como estas práticas prejudicam o desempenho geral dos trabalhadores em obra. Cerca de 45% dos trabalhadores entrevistados mencionaram a falta de comunicação sentida no seu ambiente de trabalho (Hewage *et al.*, 2008). A maioria atribui aos responsáveis de obra o insuficiente fluxo de informação gerado entre o escritório - tanto de obra como de sede - e o local de obra (Hewage e Ruwanpura, 2006).

Bateman e Snell (1999) afirmam que apenas 20% da informação transmitida pela gestão de topo é partilhada com os trabalhadores no local de obra. Afirmam, que esta deficiência é devida à sobrecarga de informação, falta de abertura comunicativa e falta de filtrar a informação desnecessária para determinadas tarefas (Bateman e Snell, 1999). Por exemplo, os encarregados visitam regularmente o escritório em obra só para obterem clarificações das suas instruções, ou dos desenhos de projeto. Isto resulta numa diminuição do tempo disponível para supervisionar e/ou fornecer instruções aos colaboradores da empresa ou subcontratados. Entretanto, estes despendem entre 15 a 20% do seu tempo de trabalho a deambular pelo local de obra a localizar materiais ou ferramentas. Inclusive, alguns dos trabalhadores do local de obra não estão cientes de quais os seus objetivos e prazos diários (Hewage e Ruwanpura, 2006). Por forma a contribuir para o sucesso de um projeto de construção, um trabalhador no local de obra necessita de saber exatamente que tarefas deverão ser por si cumpridas (Dozzi e Abourizk, 1993).

Por forma a um projeto ser bem-sucedido, a partilha de informação deverá fluir em ambos os sentidos. As instruções e decisões produzidas em escritório pelos responsáveis devem ser transmitidas aos trabalhadores em obra de uma forma precisa e em tempo oportuno (Wachira, 2001). Entretanto, os dados recolhidos em obra pelos trabalhadores devem ser transmitidos atempadamente e devem descrever, sem dúvidas, o estado real da obra (Golparvar-Fard *et al.*, 2009). Obviamente, quanto mais informação e quanto mais rapidamente a informação das atividades do local de obra for transmitida aos responsáveis da gestão de produção, maior será a sua capacidade para evitar ou corrigir situações indesejáveis (Leung *et al.*, 2008). No entanto, os atuais meios de recolha e partilha de informação não permitem o desenvolvimento de um fluxo de informação eficaz entre escritório e obra (Park *et al.*, 2013).

Não obstante, os processos para a partilha de informação encontram-se cada vez mais complexos. Uma das razões relaciona-se com a tendência de globalização das empresas de construção, que contribui para o aumento da participação estrangeira nos projetos de construção (Leung *et al.*, 2008). Atualmente, o desafio relaciona-se com os intervenientes da gestão de produção dispersados geograficamente, possuírem meios comunicativos eficientes que permitam uma tomada de decisões atempadamente (Leung *et al.*, 2008). Este desafio é exacerbado pelo aumento do número de colaboradores nos projetos de construção. Por cada participante adicional, aumenta exponencialmente o número de canais comunicativos existentes num projeto de construção, como demonstra a Figura 2.2 (Kassem *et al.*, 2011).

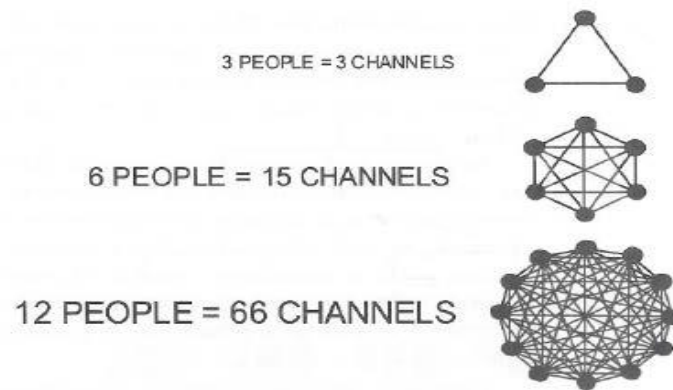


Figura 2.2 - Aumento do número de canais comunicativos com o aumento de participantes (Kassem *et al.*, 2011)

De acordo com Fischer e Kunz (2004), a melhoria mais significativa no desenvolvimento de um projeto de construção, incide na comunicação entre os participantes do projeto. O desafio será então estabelecer um ambiente onde a integração entre vários participantes seja possível (Ahmad *et al.*, 1995). No entanto, o resultado das atuais práticas de comunicação tem contribuído largamente para o desperdício de tempo, para o aumento de custos desnecessários e para o aumento de erros devido a incorretas interpretações da informação produzida ao longo de um projeto de construção (Josephson e Hammarlund, 1999).

O aumento de erros e de informação interpretada incorretamente resulta invariavelmente na ocorrência de NC, que por sua vez contribuem para o aumento de trabalhos corretivos (Josephson e Hammarlund, 1999). Estes são identificados como o principal fator para as derrapagens orçamentais, para o incumprimento dos prazos contratuais e para a fraca qualidade dos produtos produzidos pela IC (Love, 2002). Aliás, como já referido, 12,4% dos custos totais de um projeto de construção são desperdiçados em trabalhos corretivos de elementos construtivos não conformes (Josephson e Hammarlund, 1999). Além do mais, a ocorrência de NC condiciona vários aspetos da performance da indústria i.e., custos, tempo e satisfação dos intervenientes. Os impactos diretos da ocorrência de NC durante os projetos de construção incluem (Palaneeswaran, 2006):

- Tempo adicional para executar os trabalhos corretivos;
- Custos adicionais de modo a eliminar as causas das ocorrências;
- Materiais adicionais e o conseqüente desperdício associado;
- Mão-de-obra adicional para a execução e supervisão dos trabalhos.

É da opinião geral dos intervenientes da IC e da comunidade académica, que a inadequada comunicação da indústria é a principal responsável pela quantidade excessiva de trabalhos corretivos, comuns a todos os projetos de construção (Love *et al.*, 1996).

2.1.2. A necessidade de reduzir a quantidade de trabalhos corretivos

Diversas interpretações para as causas dos trabalhos corretivos podem ser encontradas na literatura. As causas tanto podem surgir de desvios nos padrões de qualidade (Burati *et al.*, 1992), da existência de NC (Abdul-Rahman, 1995), defeitos (Josephson e Hammarlund, 1999), ou falhas de qualidade (Barber *et al.*, 2000). Na generalidade, defeito pode ser definido como um esforço desnecessário ao refazer um atividade ou processo que foi implementada/o incorretamente na primeira vez (Love, 2002). O *Construction Industry Institute* define trabalho corretivo como uma atividade no terreno que tem de ser realizada mais que uma vez, ou como atividades que removem o trabalho anteriormente realizado (Love e Li, 2000). Essencialmente, os trabalhos corretivos podem resultar de erros, omissões, falhas, danos e trocas de encomendas (Mills *et al.*, 2009).

O estudo desenvolvido por Love e Li (2000) sobre os custos associados a trabalhos corretivos executados durante projetos de empreendimentos residências e indústrias, demonstra que estes custos variam entre 2,4 e 3,15% do valor dos contratos. No entanto, os custos associados aos desvios nos padrões de qualidade em projetos de engenharia civil e de indústria pesada são significativamente mais elevados. Burati *et al.*, (1992) determinou que estes custos podem ascender a 12,4% do valor de contrato. Noutro estudo realizado por Abdul-Rahman (1995), foi determinado que os custos associados a NC (excluindo desperdício de materiais e despesas de sede) atingem valores de 5% do valor dos contratos dos projetos. Por sua vez, Cusack, citado por Park *et al.*, (2013), revela que a principal causa para ocorrência de defeitos durante um projeto de construção está relacionada com erros de documentação.

A implementação de SGQ, certificados pela norma ISO 9001, demonstrou a sua capacidade para responder aos problemas relacionados com a ocorrência de defeitos nos projetos de construção (Dissanayaka *et al.*, 2001). A sua capacidade de melhorar a comunicação, de manter registos de um modo mais sistemático, de proporcionar uma melhoria contínua dos processos e de reduzir a quantidade de trabalhos corretivos foi já demonstrada (Pheng e Wee, 2001). Aliás, Love e Li (2000) afirmam que os projetos onde o empreiteiro geral implemente um SGQ e uma estratégia eficaz para a melhoria contínua dos processos, os custos associados a trabalhos corretivos correspondem apenas a 1% do valor de contrato.

2.1.3. A implementação de Sistemas de Gestão de Qualidade

A gestão da qualidade é uma das componentes críticas para uma gestão eficaz dos projetos de construção (Abdul-Rahman, 1995). O objetivo da gestão de qualidade é de produzir um produto com qualidade que satisfaça todos os intervenientes envolvidos na construção de um empreendimento, em concordância com os padrões contratados, cumprindo com os prazos e orçamento acordados (Leung *et al.*, 2008). Diversos fatores da gestão de construção como liderança, cultivação do entusiasmo, participação dos empregados ou comunicação aberta, têm de ser geridos corretamente por forma a implementar eficazmente os SGQ na IC (Ahmed *et al.*, 2005).

A qualidade nos projetos de construção, assim como o seu sucesso, podem ser vistos como o cumprimento das expectativas (i.e.: a satisfação) dos participantes envolvidos (Barrett, 2000). No entanto, os custos de qualidade podem significar a diferença entre a obtenção de um SGQ eficaz ou de um simplesmente dispendioso (Low e Yeo, 1998).

As vantagens da implementação de SGQ conformes com a norma ISO 9001 têm sido mencionadas em diversos estudos (Dissanayaka *et al.*, 2001). Apesar disto, a implementação de SGQ não garante um produto ou serviço sem defeitos, mas providencia uma estrutura para a maximização da entrega do produto ou serviço. Assim, uma implementação eficaz de SGQ pode trazer os seguintes benefícios às empresas de construção (Yeomans, 2013):

- *Melhoria dos processos e uma abordagem factual à tomada de decisões:* A auditoria a processos, revisão das práticas de gestão e a melhoria dos processos baseados na recolha de dados são previstos nos SGQ de boa qualidade. Assim, a melhoria de processos e de tomada de decisões são cuidadosamente planeadas e implementadas baseadas em factos. A utilização de sistemas eficazes de documentação e análise assegura que as melhores decisões são tomadas. A comunicação em geral é melhorada;
- *Aumento da satisfação dos intervenientes:* A satisfação de intervenientes, internos ou externos, é aumentada através da implementação de SGQ de boa qualidade. Esta satisfação é assegurada ao melhorar a consistência dos serviços providenciados;
- *Aumento de eficiência:* O desenvolvimento de um SGQ requiere a consideração da escala/natureza da empresa, os seus processos associados e como maximizar a qualidade e eficiência. Um SGQ de boa qualidade e implementado eficazmente, fornece diretrizes para a execução de todos os processos da atividade da empresa, de modo que a resolução de problemas esteja previamente prevista, sendo realizada mais facilmente;
- *Melhoria do planeamento:* Um SGQ de boa qualidade prevê várias contingências, resultando em menos emergências e surpresas, redução de custos através da redução de desperdícios e esforços, e aumento da eficácia do treino dos trabalhadores;
- *Melhoria contínua:* Os SGQ fornecem uma “memória da empresa” que evita a repetição de problemas ou NC anterior ocorridas ao proporcionar bases de aprendizagem a serem utilizadas em projetos futuros;
- *Maior motivação dos funcionários:* Os SGQ implementados eficazmente definem claramente as funções e responsabilidades dos funcionários, estabelecem programas de treino e providenciam aos funcionários uma imagem clara de como as suas funções afetam a qualidade e o sucesso da empresa;

- *Melhoria na relação com os subcontratados*: requer uma avaliação minuciosa dos subcontratados antes de efetuar alguma alteração (i.e., exclusão da sua lista de parceiros);
- *Melhoria do controlo sobre a documentação*: ao requerer uma extensa documentação de todos os processos (incluindo suas alterações) e de todos os erros e discrepâncias, assegura, consistentemente ao longo da produção, as responsabilidades de todos os funcionários e a sua rastreabilidade através de registos.

Apesar dos diversos benefícios que a implementação de SGQ pode trazer à indústria, existem algumas desvantagens e inconvenientes na adoção destes sistemas. A sua implementação é vista por alguns como dispendiosa tanto a nível de custos como de tempo (Dissanayaka *et al.*, 2001). Além do mais, o treino e a rotatividade dos funcionários, manter toda a documentação atualizada até à data, o aumento dos custos administrativos e a elevada burocracia, são outras das desvantagens da implementação de SGQ certificados pela norma ISO 9001 (Kwok, 1997). Entre as diversas desvantagens, a elevada burocracia é fortemente criticada pelos intervenientes da IC. Isto advém dos requisitos impostos pela norma em cumprir vinte diferentes categorias e ainda obrigar à elaboração de documentos escritos para todas as atividades ao nível operacional (local de obra incluído) (Dissanayaka *et al.*, 2001).

O sucesso de um projeto de construção está dependente da eficácia dos esforços de planeamento do empreiteiro geral. Os gestores de produção têm de trabalhar em conjunto com os subempreiteiros e fornecedores por forma a planear os trabalhos a executar (Faniran *et al.*, 1999). Os SGQ podem ser utilizados como um mecanismo para garantir que os controles apropriados são postos em prática, por forma a monitorizar e supervisionar as atividades de um projeto de construção (Love *et al.*, 2004). No entanto, tanto o empreiteiro geral como as empresas subcontratadas demonstram geralmente adversidade à implementação destes sistemas, pelas razões acima mencionadas (Dissanayaka *et al.*, 2001). Por este motivo, os SGQ implementados pelos empreiteiros gerais são normalmente mal concebidos ou ineficazmente implementados (Love *et al.*, 2004).

A implementação de SGQ de pobre qualidade pode trazer graves prejuízos à execução dos projetos de construção. Abdul-Rahman (1995) refere que os custos associados à ocorrência de NC durante o desenvolvimento de um projeto podem atingir valores bastante superiores aos 5% referidos na subsecção anterior, se forem implementados SGQ de fraca qualidade. Aliás, um estudo realizado por Nylén (1996) sobre um projeto de construção de um caminho-de-ferro aponta que com a implementação de um SGQ de fraca qualidade os custos associados a falhas de qualidade ascenderam a 10% do valor do contrato. Nylén (1996) relata que os custos dos trabalhos corretivos originados por estas falhas de qualidade corresponderam a 90% dos custos totais dos trabalhos corretivos e que 76% das falhas de qualidade verificadas corresponderam ou a documentação errônea ou a inadequada comunicação utilizada pelos intervenientes do projeto.

Love (2002) afirma que todas as causas que originam a execução de trabalhos corretivos podem ser evitadas, excluindo as relacionadas com as condições meteorológicas. Acrescenta ainda que os SGQ de fraca qualidade implementados nas empresas de construção são normalmente responsáveis pela ocorrência das causas que originam trabalhos corretivos e não contribuem para uma gestão eficaz das NC (Love, 2002).

2.1.4. Controlo de qualidade – Gestão de não conformidades

Qualidade é definida como a característica de um produto ou serviço que confia na sua habilidade de satisfazer as necessidades expressas ou implícitas. O principal propósito da GNC é maximizar a qualidade do produto e prevenir defeitos, permitindo que o projeto seja entregue ao cliente de acordo com os padrões de qualidade, do produto final, por si contratados.

Apesar do controlo de qualidade ser um dos aspetos fundamentais nos projetos de construção atuais (Leung *et al.*, 2008), o processo de GNC continua a apresentar diversas deficiências (Kim *et al.*, 2008):

- Os dados recolhidos manualmente através de listas têm de ser reintroduzidos num computador pessoal (PC), onde o processo para introdução dos dados é duplicado e é uma atividade que consome muito tempo aos seus responsáveis. Além disto, a introdução de dados está sujeita a erros de *input* de dados, tanto no escritório em obra como em sede.
- Utilização de sistemas de registos não uniformizados e não padronizados, i.e., listas, notas, *post-its*, fotografias, folhas de cálculo, documentos *Word*. Estes normalmente dão origem à perda de dados.
- Após as ordens para correção das NC, a tarefa de verificar se as causas foram eliminadas não é simples. Logo, a supervisão dos trabalhos corretivos é realizada de um modo superficial.
- A tomada de medidas corretivas raramente é efetuada de uma forma atempada. Isto deve-se ao número reduzido de trabalhadores envolvidos na GNC, ao número excessivo de documentos a elaborar, a uma comunicação ineficiente e a uma pobre qualidade em geral do processo de GNC.
- A existência de uma inadequada comunicação entre os gestores de qualidade, diretores de obra, subempreiteiros e suas equipas correspondentes. Esta inadequada comunicação é também causada pelas ferramentas comunicativas utilizadas no local de obra, i.e., telemóvel, rádio, fax, correio eletrónico ou comunicação verbal.
- Não existência de um processo ou sistema informático para análise e verificação das causas das NC.

- Não existência de um repositório padronizado para os dados e medidas tomadas em projetos passados. Isto impossibilita a aprendizagem através da consulta de projetos realizados, o que culmina com a repetição sistemática de erros e defeitos.

Os diversos formatos de documentos utilizados na GNC e os seus habituais canais de comunicação dificilmente contribuem para obtenção dos desejados padrões de qualidade na IC. Além do mais, a informação produzida durante todo o processo está inevitavelmente sujeita a erros ou até a extravios. Park *et al.*, (2013), descreve como o processo de GNC é normalmente executado. O processo é iniciado com a identificação de uma NC pelo encarregado ou diretor de obra. Esta é em seguida registada como informação num desenho ou documento em papel. Os dados da NC são depois entregues ao diretor responsável pela obra. Este transpõe os dados para um formato informático. Após analisar os dados provenientes de obra reúne-se com os responsáveis, por forma a decidir sobre as melhores medidas a serem tomadas. Com a medida corretiva selecionada, os dados são novamente reformatados na forma de instruções para a execução do trabalho corretivo. Com o trabalho corretivo concluído, o diretor de obra confirma a sua eficácia. Apenas nesta altura confirma e regista a retificação do trabalho não conforme (Park *et al.*, 2013).

Obviamente, esta forma de partilha e recolha de informação está sujeita a inúmeros erros. Por forma ao processo de GNC tornar-se mais eficiente e produtivo necessita de sistemas e/ou ferramentas capazes de recolher dados eficazmente, que proporcionem uma análise fidedel dos dados, que partilhem informação em tempo real e que permitam a reutilização de informação como referência para futuros projetos (Kim *et al.*, 2008).

2.2. O BIM na Indústria da Construção

Num mercado cada vez mais global e competitivo e com a pressão dos clientes e das organizações internas para o aumento do retorno do investimento em projetos, tecnologias de ponta têm emergido por forma a minimizar custos de projeto, aumentar o controlo sobre o projeto e amplificar a produtividade da IC (Chelson, 2010).

Nos últimos anos, diversas TIC têm sido desenvolvidas para suportar as disciplinas do setor AEC. Entre estas encontra-se o BIM. Os seus benefícios já foram amplamente descritos e incluem (Wang e Love, 2012):

- Menores custos de capital durante um projeto;
- Menos erros na elaboração de documentação contratual;
- Melhor estimativa durante a fase de proposta e *procurement*;
- Melhor coordenação na sequência de construção;
- Capacidade de identificar conflitos que podem ocorrer durante a construção;
- Capacidade de realizar análise de situação;
- Aumenta a perceção e compreensão dos clientes e utilizadores do produto final.

A maioria da pesquisa relacionada com BIM foca-se sobre como aumentar a comunicação e colaboração entre os intervenientes da IC através da utilização de representações e modelos 3D, através de desenho em 4D assistido por computador e através da simulação e construção virtual ao longo do ciclo de vida de um projeto (Love *et al.*, 2011). A informação contida nos modelos BIM deveria ser utilizada durante a fase de construção por forma a assegurar que as atividades e tarefas são completadas dentro do prazo e do orçamento, assim como para assegurar que os seus padrões de qualidade são alcançados (McGraw-Hill, 2008).

2.2.1. Introdução ao BIM

O BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias interativas que geram uma metodologia para gerir o projeto essencial de um empreendimento e os seus dados, num formato digital e durante o ciclo de vida do empreendimento (Penttilä, 2006). Aliás, a utilização de BIM não está restringida às fases de planeamento e *design*, podendo suportar a orçamentação, gestão de produção, gestão de projeto e inclusive a gestão de edifícios (Eastman *et al.*, 2008), como demonstra a Figura 2.3. Expõe claramente as interdepências que existem entre a estrutura, arquitetura e os serviços mecânicos, hidráulicos e elétricos, ao agrupar tecnologicamente as diversas especialidades de um projeto (Dossick e Neff, 2010).

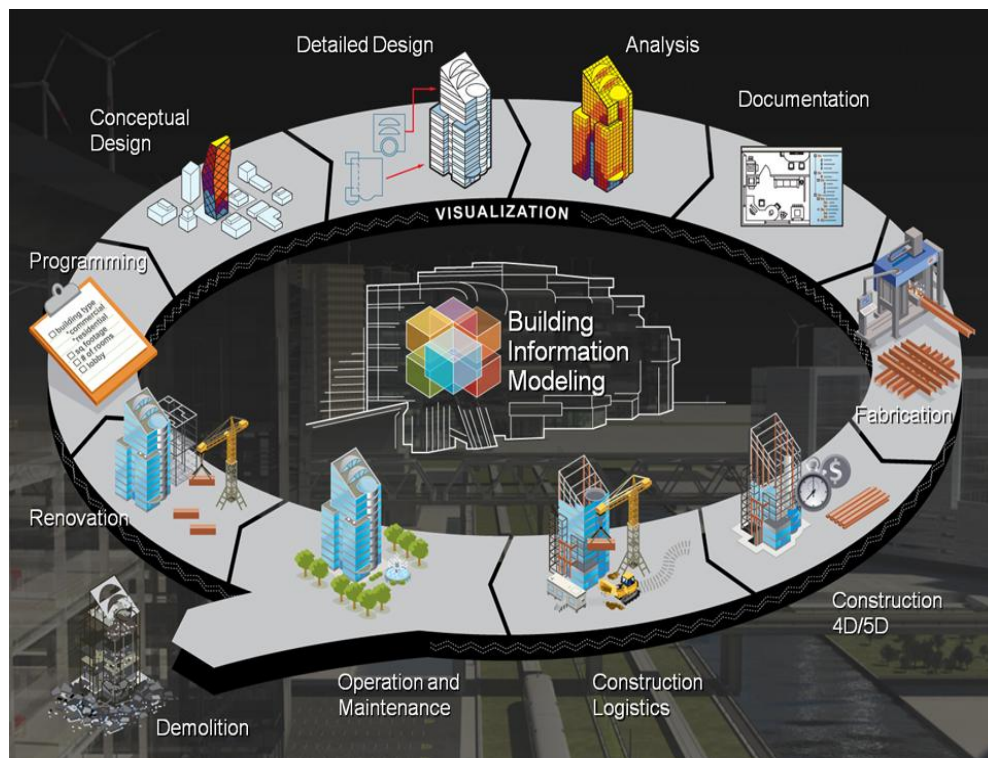


Figura 2.3 – Utilização de BIM durante o ciclo de vida de um empreendimento (Dispenza, 2010)

O modelo BIM cria uma representação digital das características físicas e funcionais de um empreendimento, como ilustra a Figura 2.4.

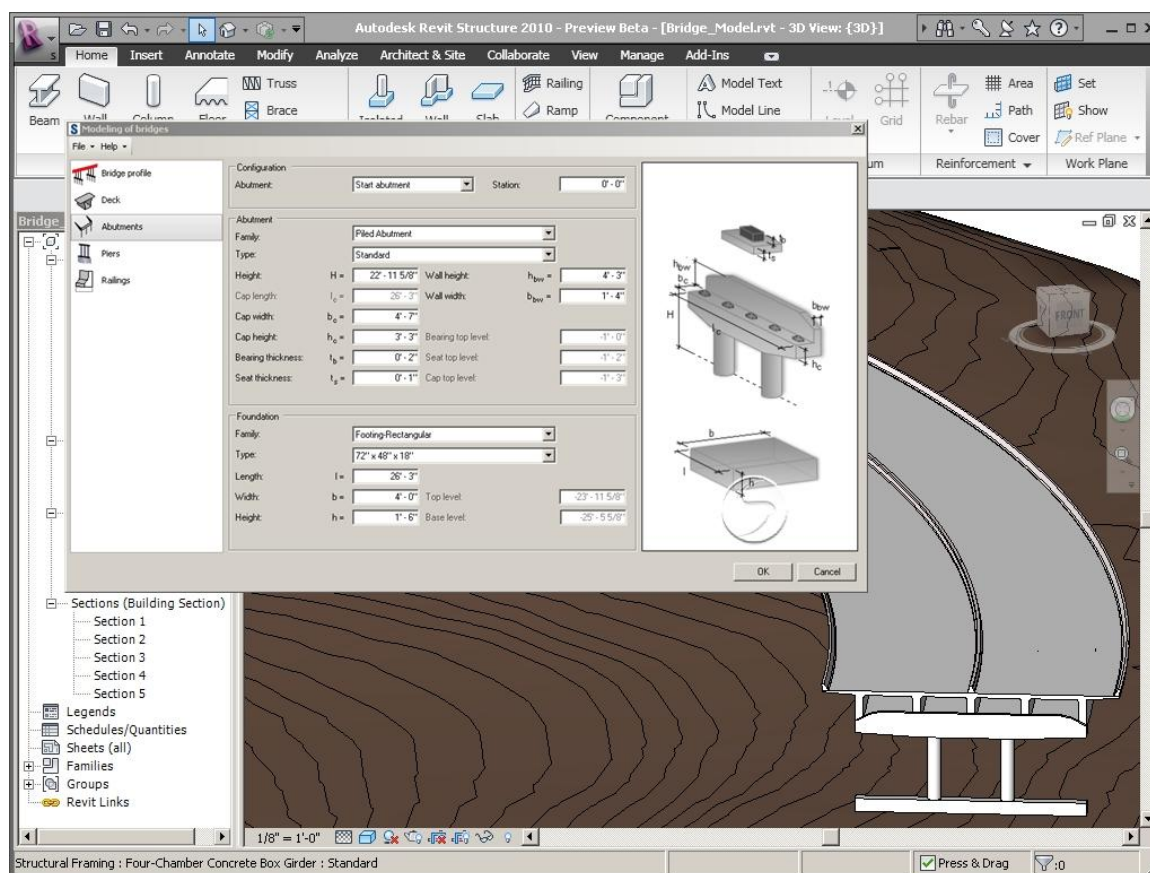


Figura 2.4 – Características físicas e funcionais representadas num modelo BIM (Auto Desk Architecture, 2010)

Pode começar como a representação de um empreendimento através de tecnologias e processos paramétricos 3D, procedendo até dimensões 4D e 5D, onde a 4D inclui a dimensão tempo (Figura 2.5) e a 5D os custos (Figura 2.6), (Taylor e Bernstein, 2009). Além disso, pode ser expandido para uma dimensão nD, onde várias funções podem ser incorporadas. Estas funções podem incluir qualidade, acessibilidade, segurança, logística, sustentabilidade, manutenção, acústica e simulação energética (Aouad *et al.*, 2006). Apesar dos desenvolvimentos até à data, o BIM ainda não foi transportado eficazmente para um nível operacional durante a fase de construção, nomeadamente nas áreas de supervisão, monitorização e gestão de produção (Wang e Love, 2012).

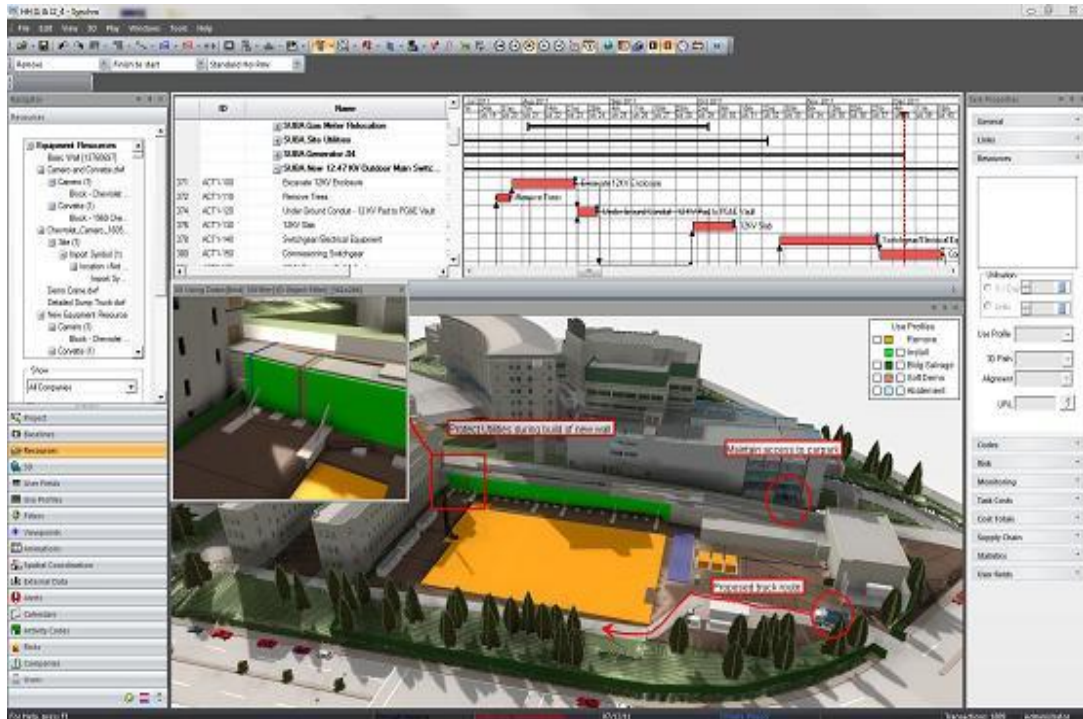


Figura 2.5 – Dimensão 4D representada num modelo BIM (Dengenis, 2012)

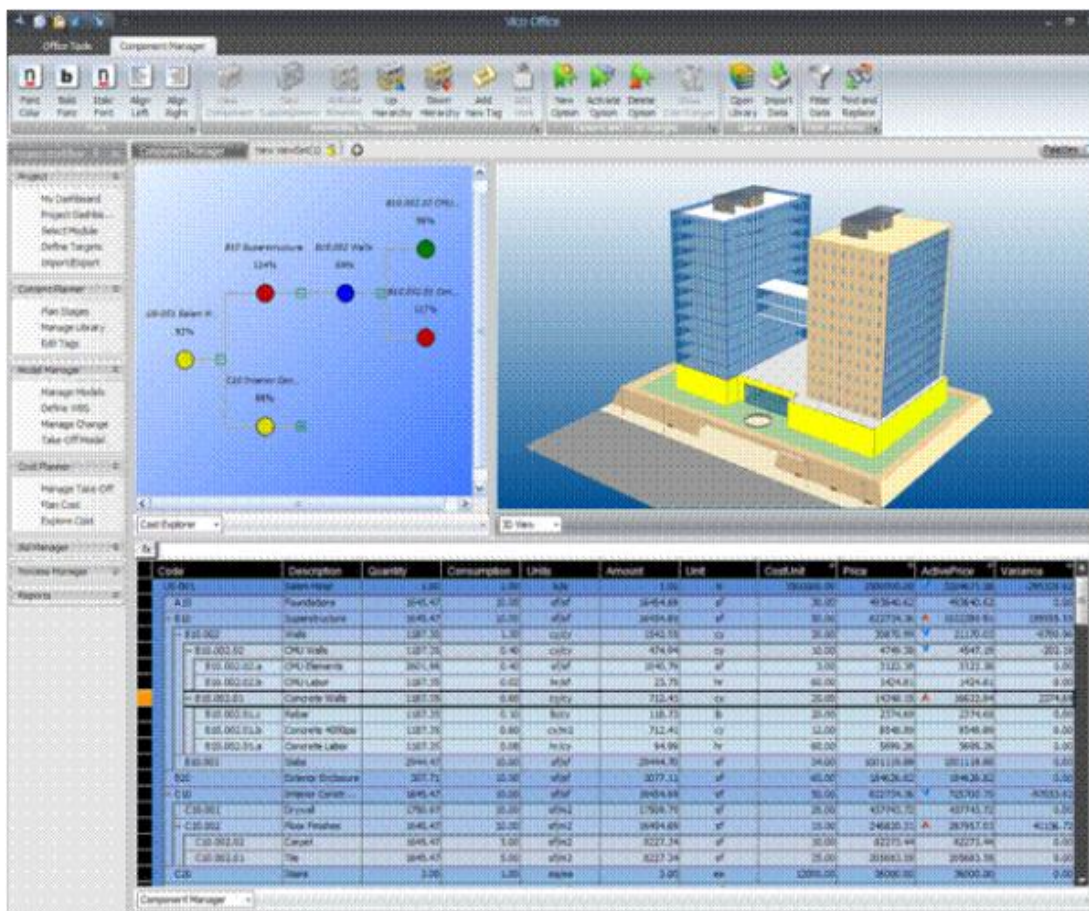


Figura 2.6 – Dimensão 5D representada num modelo BIM, (Broekmaat, s/d)

2.2.2. O BIM como ferramenta de visualização e comunicação

No ambiente de projeto os canais primários e tradicionais de comunicação para a transferência de informação são resumidos a documentação em papel, baseada em informação e gráficos 2D, embora seja argumentado por diversos autores que estes canais são uma forma insuficiente de comunicação (Chelson, 2010; Sacks *et al.*, 2010). A insuficiência está relacionada com a falta de capacidade destes canais em aumentar a compreensão do objetivo do projeto. Por consequência, os participantes de um projeto têm um déficit de ferramentas de visualização intuitivas e de fácil uso que lhes torne a informação mais explícita (Wu e Hsieh, 2012). Em contraste com os canais de comunicação baseados em 2D, o BIM suporta e fornece a visualização dos processos de projeto e de construção (Chelson, 2010), como demonstra a Figura 2.7.

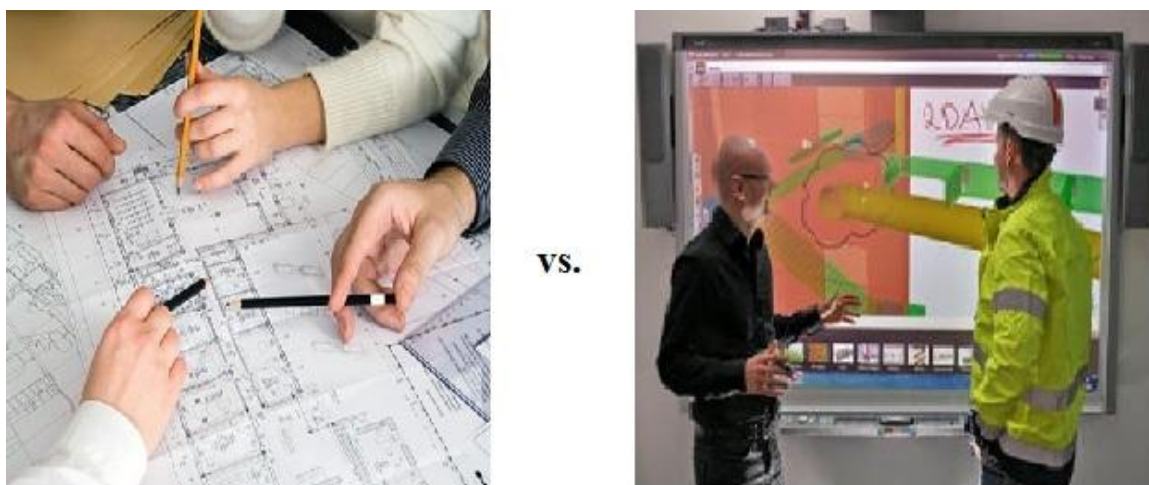


Figura 2.7 – Comunicação e partilha de informação interativa através do BIM

O desenvolvimento da visualização 3D através de modelos BIM precisos tem elevado o potencial da visualização dos meios quer físicos quer funcionais de uma instalação, representando um grande benefício para as partes interessadas (Chelson, 2010). Esta potencialidade relaciona-se com o que Sacks *et al.* (2010) chamam de transparência processual, denominação utilizada para descrever a capacidade dos participantes de projeto de visualizar os processos de produção por forma a aumentar o seu controlo e compreensão. Portanto, o BIM proporciona a capacidade para alterar a dinâmica da comunicação das intenções do *design* e da sua revisão (Chelson, 2010). O BIM auxilia os profissionais da construção ao simular o ambiente futuro de um empreendimento e com este meio permite identificar possíveis erros tanto no projeto como na produção (Azhar *et al.*, 2008). Segundo Sacks *et al.* (2010), comunicar as intenções do projeto eficazmente é uma das funcionalidades chave do BIM, proporcionando ainda a oportunidade de transmitir informação em vistas dinâmicas. Esta característica pode tornar a comunicação mais eficaz e eficiente durante uma reunião de produção (Wu e Hsieh, 2012), e abre a possibilidade de fornecer ferramentas para melhorar os canais comunicativos utilizados em obra. Os benefícios da utilização do BIM como ferramenta de visualização na produção de obra incluem (Sacks *et al.*, 2010):

- Maior motivação e compromisso dos trabalhadores qualificados;
- Aumento do envolvimento dos trabalhadores qualificados nos esforços para melhoria;
- Tendência reduzida para a ocorrência de qualquer tipo de erros, visto serem mais facilmente previstos.

A tendência reduzida para a ocorrência de erros irá diminuir a quantidade de alterações que terão de ser efetuadas e daí contribuir para o aumento da qualidade assim como para a redução de custos (Love *et al.*, 2011).

2.3. A Realidade Aumentada

A RA é uma tecnologia que combina imagens do mundo real com dados virtuais gerados por computador. Fundamentalmente, é um ambiente onde os dados gerados informaticamente são sobrepostos à vista real do utilizador, como demonstra a Figura 2.8. Os sistemas de RA permitem ao utilizador trabalhar num ambiente do mundo real recebendo, simultaneamente e visualmente, informação adicional modelada ou gerada por computador (Azuma, 1997).

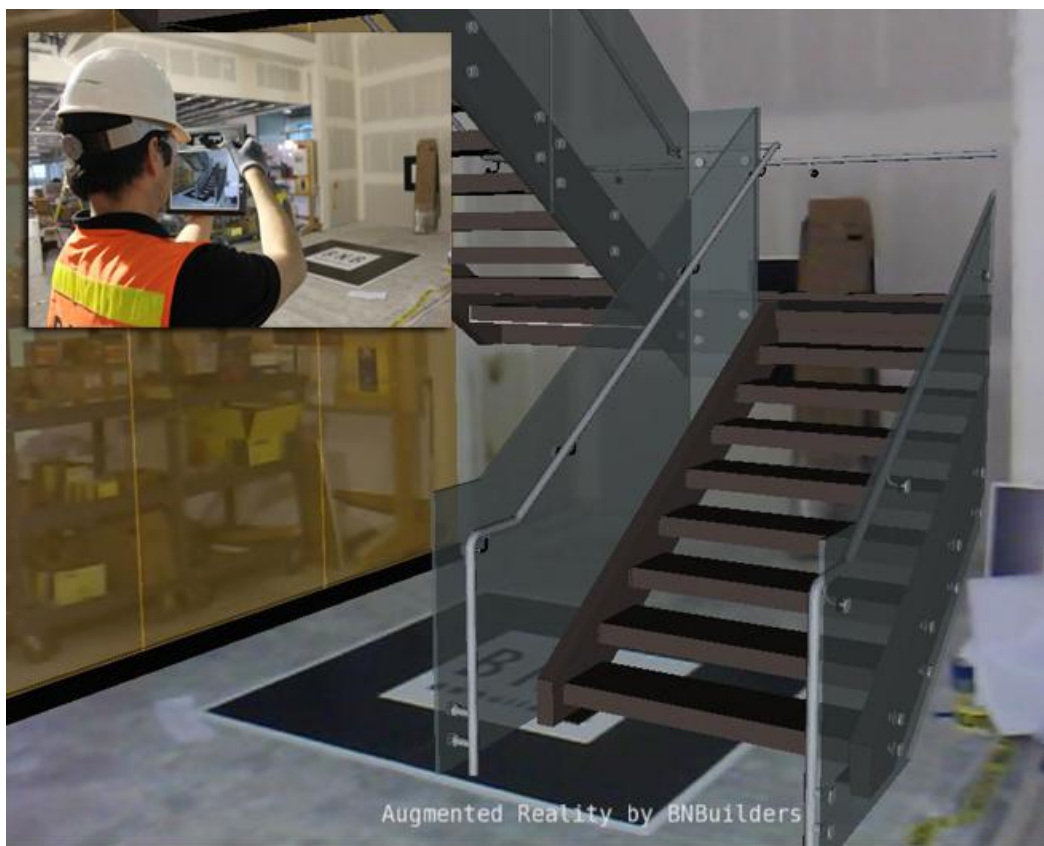


Figura 2.8 – Sobreposição de elementos virtuais sobre a vista real do utilizador (Duffett, 2012)

2.3.1. Introdução à realidade aumentada

A RA é uma tecnologia emergente na área da realidade virtual (VR) e tem vindo a adquirir relevância como uma área a investigar e desenvolver (MIT, 2007). Em 1968 Ivan E. Sutherland (1968) foi pioneiro na investigação sobre RA, falando pela primeira vez na exibição de imagens virtuais tridimensionais (3D) sobrepostas a uma imagem do mundo real. Na Figura 2.9 pode observar-se o primeiro esquema para um protótipo de um sistema de RA.

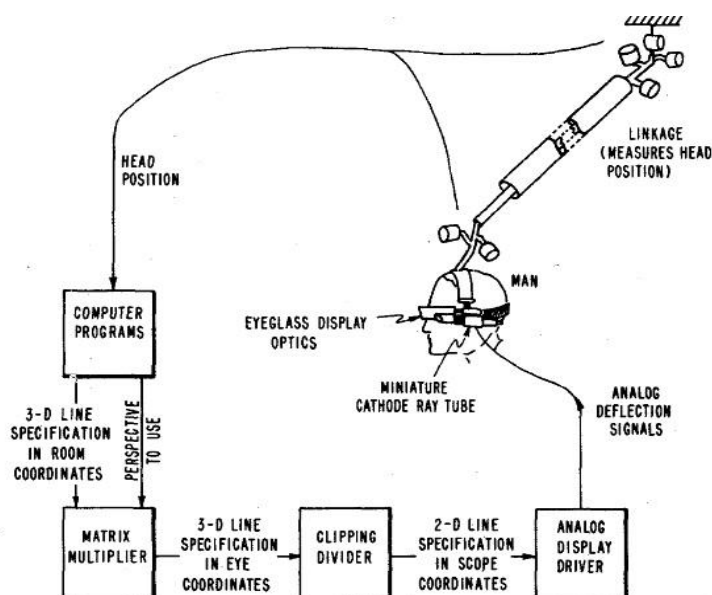


Figura 2.9 – Esquema do primeiro protótipo de um sistema de RA (Sutherland, 1968)

Dentro do campo da visualização e da animação, existem duas abordagens possíveis que são aplicáveis à indústria AEC: Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) (Behzadan e Kamat, 2005). Embora a RV tem sido a fonte de motivação para a maior parte da investigação neste campo, a sua aplicação no quotidiano da indústria AEC está limitada aos casos em que não é necessário a combinação entre o ambiente real e gráficos virtuais. Por outras palavras, na maioria das aplicações de VR como jogos 3D não faz sentido que o utilizador tenha a perceção do meio real que o rodeia, sendo o output da RV totalmente independente do ambiente real onde o utilizador se situa.

As aplicações de RA contrastam com as de RV por possuírem sempre uma combinação de objetos virtuais e cenários reais (Azuma, 1997). Isto proporciona ao utilizador a capacidade de tomar o ambiente que o rodeia como cenário e sobrepor objetos virtuais num ambiente real. Milgram e Kishino (1994) definem um espectro para ambientes desde a Realidade até ao Virtual como demonstra a Figura 2.10, chamando ao espaço entre a realidade e a virtualidade de realidade mista.

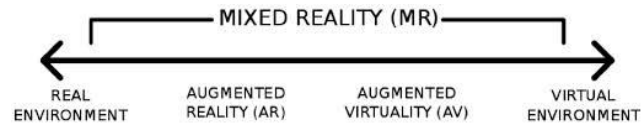


Figura 2.10 – Espectro realidade – virtualidade (Milgram e Kishino, 1994)

A natureza da animação baseada em aplicações VR requer um esforço significativo para criar um ambiente virtual que represente fidedignamente a realidade. O tempo e experiência gasto em modelos CAD 3D é extenso já que a simulação de RV requer a criação, obtenção, refinamento, arquivo e atualização dos objetos e recursos construtivos dos modelos para uso na animação 3D (Brooks, 1999). Módulos como o terreno do local de obra, estruturas existentes, recursos, etc., têm todos de ser modelados no CAD antes da utilização da animação de RV. Considerando todas as complexidades comuns de um projeto de construção e a presença dos problemas acima mencionados, o uso de RV para a criação de animações 3D e visualização de cenários é impraticável e proibitivo em muitas simulações de problemas (Behzadan e Kamat, 2005).

Por outro lado, um dos principais problemas da visualização baseada em aplicações de RA é a de incorporar objetos virtuais na imagem do mundo real, de uma maneira que os utilizadores sintam que estão a visualizar esses objetos virtuais como se tivessem mesmo sido colocados no ambiente real (Azuma *et al.*, 1999). Este problema revela-se principalmente quando o utilizador está num espaço exterior que não se encontra preparado. A principal razão é que num ambiente não preparado existem diversas combinações para a localização e orientação do utilizador, cada uma requerendo que a aplicação use um conjunto único de objetos virtuais para localizar a visão do utilizador. Por outro lado, em ambientes interiores, o movimento, a localização e a orientação estão limitados a um número finito de estados (Behzadan e Kamat, 2005). A Figura 2.11 mostra a diferença entre RV e RA onde se observa na imagem da esquerda um mundo completamente sintético (RV) e na imagem da direita uma imagem captada por vídeo com sobreposição de gruas como objetos virtuais (RA).



Figura 2.11 – Esquema comparativo entre RV e RA (Behzadan e Kamat, 2005)

Após vários anos de desenvolvimento, a RA tornou-se num ramo muito importante no campo da RV. Comparada com a tecnologia de RV tradicional, a RA possui vantagens óbvias (Yang, 2011):

- A RA tem uma melhor percepção da realidade. O propósito da RV é a de simular o mundo real, dando às pessoas um sentido de imersão. A tecnologia de RV acentua os ambientes virtuais, sendo o realismo do mundo real dependente no grau da simulação. Contudo, a RA é uma integração orgânica entre o mundo real e o ambiente virtual. Portanto, a RA possui um melhor sentido da realidade;
- A RA possui melhor interação. Como a RV enfatiza o ambiente virtual como prioridade, os utilizadores estão numa posição passiva no ambiente virtual. Contudo, como a RA enfatiza a integração orgânica entre ambiente virtual e real, os utilizadores podem participar ativamente. Portanto, a RA possui melhor interatividade.

2.4. Sistemas de Realidade Aumentada

A principal característica dos sistemas de RA – permitir aos utilizadores visualizar objetos virtuais sobre a vista do ambiente real – tem atraído a atenção de diversos investigadores do setor AEC (Shin e Dunston, 2008). Vários estudos demonstram as vantagens da implementação de sistemas de RA no setor desde fornecer auxílio visual para estruturas subterrâneas (Roberts *et al.*, 2002), ajudar na manutenção da informação de arquitetura (Webster *et al.*, 1996), projetar desenhos arquitetónicos (Thomas *et al.*, 1999), na assistência para a montagem de condutas (Hou *et al.*, 2013), etc.

O estudo realizado por Shin e Dunston (2008) demonstra as potencialidades da implementação dos sistemas de RA na execução de diversas tarefas da construção como construção e inspeção, coordenação, e interpretação e comunicação de informação. Os sistemas de RA ao apresentar a informação dos projetos de construção na vista do ambiente real do utilizador podem fornecer métodos mais eficazes para a execução das tarefas referidas, que serão descritos na subsecção 2.4.5. No entanto, os atuais sistemas de RA possuem diversas limitações que terão de ser endereçadas antes destes sistemas poderem ser utilizados eficazmente no local de obra.

Kamat e Behzadan (2006) classificaram os sistemas de RA para aplicação na IC em duas categorias: sistemas para interiores e para exteriores. Nos sistemas de RA preparados para ambientes interiores o utilizador tem a vantagem de um ambiente preparado, onde os movimentos estão normalmente restritos a um espaço finito. Contudo, para um setor como o da construção, as aplicações para interiores têm utilização limitada devido a grande parte das atividades da construção serem realizadas no exterior, num ambiente não preparado (Kamat e Behzadan, 2006).

O principal requisito dos sistemas de RA preparados para ambientes exteriores é a necessidade de uma detecção exata e um rastreamento preciso da posição e orientação do utilizador. É necessário também uma correta resposta às variações do movimento do utilizador e das características do ambiente (terrenos irregulares, condições de luminosidade, etc.) (Kamat e Behzadan, 2006). O sistema de RA tem de ser capaz de gerar uma representação precisa do local aumentado em tempo real, de modo aos utilizadores poderem ter a perceção que estão inseridos num ambiente onde os objetos virtuais se mantêm fixos no local desejado e perfeitamente alinhados com os objetos reais (Azuma, 1997).

Por forma a desenvolver sistemas de RA robustos, estes devem incluir tecnologias de projeção, rastreamento e interação apropriadas para implementação em obra (Azuma *et al.*, 2001). Entre estas, as tecnologias de rastreamento continuam a ser maior desafio a limitar a implementação dos sistemas de RA nos locais de obra (Shin e Dunston, 2008). Nas subsecções seguintes serão descritos as tecnologias que compõe os sistemas de RA, e as suas vantagens e desvantagens para uma implementação em ambientes de obra.

2.4.1. Tecnologias de projeção

As tecnologias de projeção focam-se principalmente em três tipos: *see-through head-mounted displays* (HMD), *projection-based displays* e *handheld displays*.

2.4.1.1 See-through HMD's

Os *see-through* HMD são maioritariamente utilizados por forma a permitir ao utilizador visualizar objetos virtuais sobrepostos sobre o ambiente real (Zhou *et al.*, 2008). Estes podem ser divididos em duas categorias: *optical see-through* (OST), representado na Figura 2.12, e *video see-through* (VST), representado na Figura 2.13.



Figura 2.12 – Dispositivo *optical see-through* com recurso a HMD



Figura 2.13 – Dispositivo *video see through* com recurso a HMD

Os dispositivos OST são aqueles que permitem ao utilizador a visualização do ambiente real através dos seus olhos naturais, e que sobrepõe gráficos virtuais à vista do utilizador, ao utilizar um elemento ótico holográfico (Azuma, 1997). O princípio de funcionamento deste tipo de dispositivos encontra-se ilustrado na Figura 2.14.

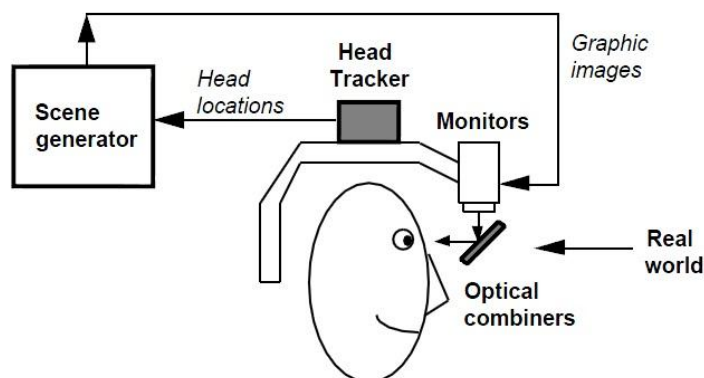


Figura 2.14 – Princípio de funcionamento dos dispositivos OST (Azuma, 1997)

As principais vantagens dos dispositivos OST relacionam-se com a sua capacidade de oferecer uma vista superior do ambiente real (o ambiente real não é digitalizado) mas também de serem menos dispendiosos, mais seguros e não sofrem de problemas de desorientação do utilizador devido à distância da posição da câmara em relação ao olho do utilizador (*eye-offset*). A necessidade destes dispositivos de combinar os objetos virtuais holograficamente através espelhos ou lentes transparentes cria uma desvantagem na sua utilização, ao reduzir o brilho e contraste tanto dos objetos virtuais como do ambiente real. Além do mais, revelam problemas de oclusão dos objetos reais devido à dificuldade existente em combinar a luz entre objetos virtuais e reais (Zhou *et al.*, 2008).

Os dispositivos VST são aqueles em que o utilizador visualiza um vídeo do ambiente real sobreposto com objetos virtuais, ou seja o ambiente real é digitalizado, permitindo que o rastreamento do movimento da cabeça do utilizador tenha um melhor registo. Além do mais, estes dispositivos permitem corresponder aos *delays* (atrasos) na projeção tanto dos objetos virtuais como o dos reais, fazendo com o utilizador não tenha a percepção do desfasamento entre objetos

(Azuma, 1997). O princípio de funcionamento deste tipo de dispositivos encontra-se ilustrado na Figura 2.15.

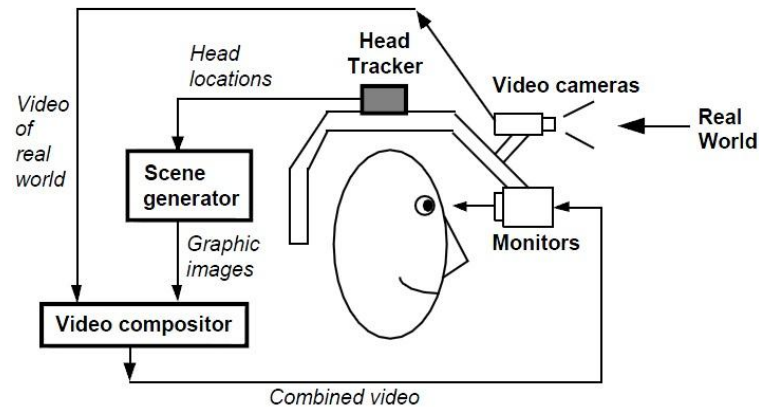


Figura 2.15 – Princípio de funcionamento dos dispositivos VST (Azuma, 1997)

Nesta caso, as principais vantagens incluem consistência entre as vistas reais e sintéticas, disponibilidade de diversas técnicas para o processamento de imagens como correção do brilho e contraste da luminosidade, controlo de sombras, etc. Devido à disponibilidade das diferentes técnicas de processamento de imagens disponíveis aos dispositivos VST, estes conseguem lidar de um modo melhor com os problemas de oclusão. As desvantagens da utilização deste tipo de dispositivo incluem uma resolução baixa do ambiente real, um campo de visão limitado (embora possa ser facilmente aumentado) e problemas relacionados com *eye offset* (Zhou *et al.*, 2008).

2.4.1.2 *Projection-based*

Este tipo de dispositivos permite a visualização da RA ao projetar objetos virtuais diretamente sobre objetos reais, onde estes podem incluir qualquer tipo de superfície. A Figura 2.16 demonstra a visualização de RA com recurso a este tipo de dispositivo (Krevelen e Poelman, 2010).



Figura 2.16 – Dispositivos baseados em projetores (Krevelen e Poelman, 2010)

As grandes vantagens deste tipo de dispositivos relacionam-se com o facto de não requererem nenhum tipo de equipamento ocular e permitirem um largo campo de visão. Contudo, a sua impossibilidade de operar em ambientes exterior (problemas de luminosidade entre objetos virtuais e reais) e em ambientes onde não existam superfícies, limita a utilização deste tipo de dispositivo (Zhou *et al.*, 2008).

2.4.1.3 Dispositivos *Handheld*

Os sistemas de RA também podem ser compostos por dispositivos *handheld*, baseados em configurações dependentes de monitores (Azuma, 1997). O princípio de funcionamento assenta nos mesmos princípios dos dispositivos VST, como demonstra a Figura 2.17.

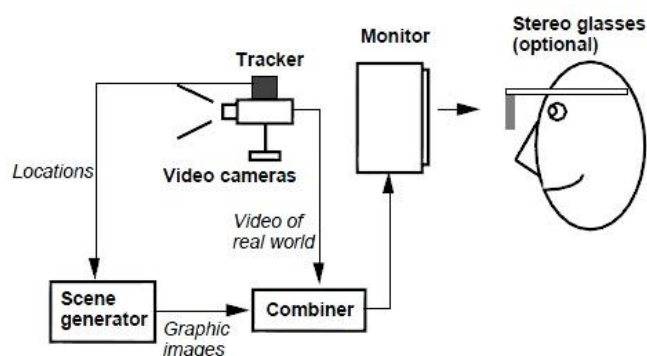


Figura 2.17 – Princípio de funcionamento de dispositivos *see-through* baseados em monitores (Azuma, 1997)

Este género de dispositivos são uma boa alternativa aos dispositivos anteriormente descritos nomeadamente por serem minimamente intrusivos, socialmente aceites, prontamente disponíveis e altamente móveis (Zhou *et al.*, 2008). Atualmente existem diversos tipos de dispositivos *handheld* que podem ser utilizados nos sistemas de RA incluindo *tablets* (Figura 2.18), *smartphones* (Figura 2.19) e portáteis ultra leves (Figura 2.20).



Figura 2.18 – Utilização de *tablets* para visualizar a RA



Figura 2.19 – Utilização de *smartphones* para visualizar a RA (Rekimoto e Saitoh, 1999)



Figura 2.20 – Utilização de portáteis ultra leves para visualizar a RA (Woodward *et al.*, 2010)

Apesar das suas vantagens, ao contrário dos HMD's estes dispositivos não permitem aos utilizadores a utilização das suas mãos livremente. Contudo, são capazes de fornecer uma imagem de alta resolução e os seus utilizadores não experienciam a fadiga nem desconforto associado à utilização de HMD's (Shin e Jang, 2009).

2.4.2. Tecnologias de rastreamento

Antes dos sistemas de RA conseguirem projetar os objetos virtuais sobre o ambiente real, os sistemas deverão possuir a perceção do ambiente e rastrear o movimento do utilizador com seis graus de liberdade: três variáveis de posição (x , y , z) e três ângulos de orientação (inclinações dos três eixos). Os graus de liberdade são medidos através de dispositivos de rastreamento (Höllerer e Feiner, 2004).

Em comparação com os ambientes virtuais, os dispositivos de rastreamento dos sistemas de RA devem possuir uma precisão muito mais elevada, uma maior largura de *inputs* e um maior alcance. A precisão do registo dos objetos virtuais depende não só do modelo geométrico mas também da distância a que devem ser registados. Quanto mais longe se encontrar um objeto, menores serão os erros de impacto no rastreamento da posição do utilizador, mas maiores serão os

erros no rastreamento da sua orientação (Azuma *et al.*, 2001). As tecnologias de rastreamento atuais utilizam técnicas mecânicas, técnicas baseadas em sensores (magnéticas, acústicas, inércia ou GPS) ou técnicas óticas. Todas apresentam algum tipo de insuficiência ao nível da precisão, distorção e/ou alcance.

2.4.2.1 Tecnologias de rastreamento mecânicas

Sistemas mecânicos de rastreamento usam ligações mecânicas entre a referência e objeto por forma a calcular a posição e orientação do utilizador (Rolland *et al.*, 2001), como demonstra a Figura 2.21. Esta tecnologia é extremamente precisa, facilmente concebida e possui uma baixa latência. No entanto, ao ligar fisicamente o utilizador a um ponto de referência, a sua mobilidade é bastante limitada (Shin e Jang, 2009).

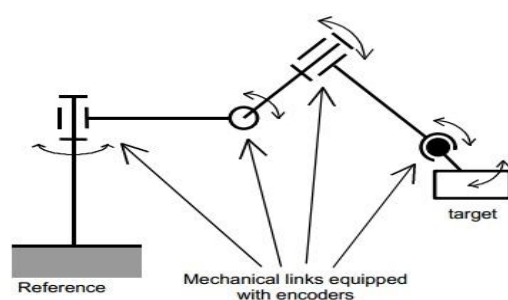


Figura 2.21 – Estrutura de um sistema de rastreamento mecânico (Rolland *et al.*, 2001)

2.4.2.2 Tecnologias de rastreamento magnéticas

As tecnologias de rastreamento magnéticas assentam na determinação de distâncias dentro de campos eletromagnéticos (Rolland *et al.*, 2001). Estas tecnologias são de fácil utilização, são precisas, possuem uma latência razoável e permitem uma boa mobilidade aos utilizadores. Contudo, são extremamente sensíveis a distorções provocadas por objetos metálicos e possuem uma capacidade reduzida na leitura de dados (Shin e Jang, 2009).

2.4.2.3 Tecnologias de rastreamento de inércia

O princípio de funcionamento destas tecnologias baseia-se na tentativa de conservar um dado eixo de rotação (giroscópio, Figura 2.22) ou uma posição (acelerómetro, Figura 2.23), (Rolland *et al.*, 2001). Estes fornecem ao utilizador uma mobilidade total e cobrem extensas áreas sem problemas de oclusão. No entanto, possuem acumulação de erros nas leituras tanto nas medições das posições como das orientações. Devido a isto a sua precisão final é bastante reduzida (Shin e Jang, 2009).

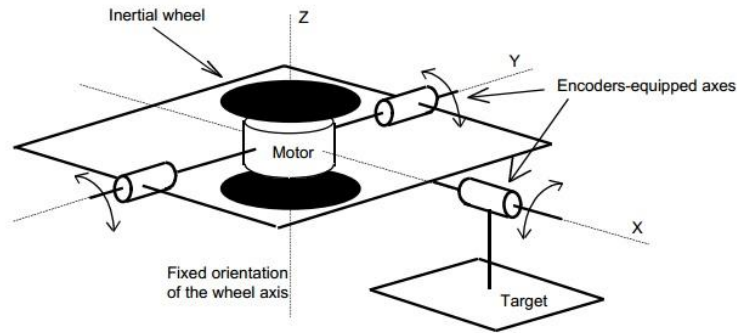


Figura 2.22 – Estrutura de um giroscópio (Rolland *et al.*, 2001)

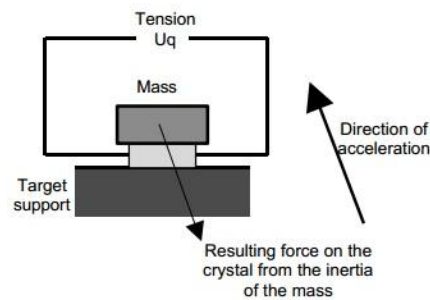


Figura 2.23 – Estrutura de um acelerômetro (Rolland *et al.*, 2001)

2.4.2.4 GPS

Os princípios de rastreamentos dos sistemas baseados em GPS utilizam um total de vinte e quatro satélites e doze estações terrestres. O sistema de GPS básico tem precisões entre os dez e quinze metros (Rolland *et al.*, 2001). Por forma a possuir uma precisão mais elevada, os ambientes devem estar preparados com uma estação local que envia uma correção de erros diferencial, denominado por *differential* GPS. Este sistema alcança precisões na casa dos centímetros (Kaplan, 1996). No entanto, mesmo com a utilização de *differential* GPS, a sua precisão atrás de oclusões ou em estruturas subterrâneas continua a ser muito baixa (Shin e Jang, 2009).

2.4.2.5 Tecnologias de rastreamento óticas

As primeiras tecnologias de rastreamento óticas baseavam-se na utilização de marcadores fiduciais (Narzt *et al.*, 2006). Sistemas baseados em marcadores fiduciais consistiam em marcadores instalados num ambiente preparado. Estes eram automaticamente detetados pelos sistemas de RA que exibiam imagens digitais associadas a cada marcador (Wang, 2007), como demonstra a Figura 2.24.



Figura 2.24 – Imagens digitais sobrepostas sobre os seus marcadores associados (Wang, 2007)

Apesar das elevadas precisões demonstradas, a utilização de tecnologias de rastreamento baseadas em marcadores fiduciais está limitada a ambientes interiores preparados, impossibilitando a sua utilização em ambientes em constante mudança, característicos dos locais de construção (Kamat e Behzadan, 2006).

Recentemente têm sido desenvolvidas tecnologias de rastreamento óticas denominadas por *markless systems* (Krevelen e Poelman, 2010). O seu princípio de funcionamento baseia-se também na deteção de elementos para a exibição de imagens digitais. No entanto, utiliza estruturas físicas/naturais existentes no local de obra como marcador (Comport *et al.*, 2003), como demonstra a Figura 2.25. Este tipo de tecnologia revela uma precisão bastante elevada, uma elevada atualização da leitura de dados e perspetiva-se que irá permitir o rastreamento de largas áreas. Contudo, esta tecnologia é bastante sensível a ruído ótico (movimentação de materiais, alteração de elementos construtivos, etc.) e às condições de luminosidade (Shin e Jang, 2009).

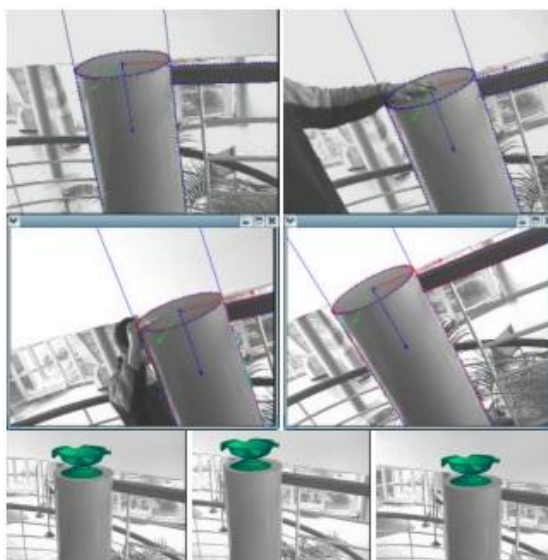


Figura 2.25 – Rastreamento de objetos virtuais com auxílio de marcadores naturais (Comport *et al.*, 2003)

2.4.2.6 Tecnologias híbridas

As tecnologias de rastreamento híbridas utilizam múltiplas medições de diferentes sensores, de modo a compensar as deficiências de uma determinada tecnologia quando utilizada individualmente. Por exemplo, You e Neumann (2001) propuseram um sistema onde a posição do utilizador seria medida por dGPS e a sua orientação através de uma bússola digital e um sensor *tilt* (tecnologias de rastreamento de inércia). Por forma a integrar as medições das diferentes tecnologias incorporaram um filtro *Kalman*, responsável pela homogeneização dos dados (Hammad *et al.*, 2004). Assim, quando o sinal do *differential* GPS estiver obstruído, o filtro *Kalman* utiliza a informação da tecnologia de inércia para calcular a posição do utilizador (You e Neumann, 2001). Apesar desta tecnologia revelar resultados promissores, ainda não atinge precisões suficientes para utilização no local de obra (Shin e Jang, 2009). Isto deve-se ao facto do sistema híbrido só garantir medidas precisas durante um espaço curto de tempo, ou seja, se o sinal do *differential* GPS permanecer obstruído durante determinado tempo, os erros de medição irão acumular-se, devido às deficiências das tecnologias de inércia (You e Neumann, 2001).

2.4.2.7 Adaptabilidade das tecnologias de rastreamento à realidade dos locais de obra

O local de obra é caracterizado como expansivo (em termos de tamanho e área) e como oclusivo (as vistas estão normalmente obstruídas pela construção das estruturas ou elementos) (Behzadan e Kamat, 2005). Estas características indicam a necessidade de desenvolver tecnologias de rastreamento dos sistemas de RA capazes de operar em locais de grande escala e oclusivos. Além do mais, a precisão necessária para desempenhar as tarefas da construção tem de ser considerada. Shin *et al.*, (2008) demonstraram que estas tarefas necessitam de uma elevada precisão de modo a serem executadas eficazmente. Outra das características dos locais de obra é a mobilidade. Normalmente, os trabalhadores necessitam de se deslocar entre áreas de trabalho para executar as suas tarefas. Isto implica que os sistemas de RA têm de permitir uma elevada mobilidade aos seus utilizadores (Shin e Jang, 2009). O Quadro 2.1 mostra as tecnologias de rastreamento anteriormente referidas e a sua adaptabilidade ao local de obra.

Quadro 2.1 – Adequação das tecnologias de rastreamento às características do local de obra, adaptado de Shin e Jang (2009)

Sistema	Grande escala	Oclusão	Precisão	Mobilidade
Mecânico			X	
Magnético			X	
Inércia	X	X		X
Acústico			X	X
Ótico	X		X	X
GPS	X			X
Híbrido	X	X		X

2.4.3. Tecnologias de interação

Além de sobreporem informação virtual sobre a vista do ambiente real, os sistemas de RA devem fornecer algum tipo de interação entre o virtual e o real (Krevelen e Poelman, 2010). Diversas interfaces para sistemas de RA foram desenvolvidas com este intuito. As interfaces dos sistemas de RA devem suportar comandos como selecionar, posicionar e rotação de objetos virtuais, devem permitir o desenhar de caminhos ou trajetórias, permitir a introdução de texto e devem possibilitar a introdução de quantidades (Krevelen e Poelman, 2010).

As primeiras interfaces, *Tangible interfaces*, desenvolvidas baseavam-se na colocação de marcadores em dispositivos – como ratos ou canetas digitais - por forma aos sistemas de RA simulá-los virtualmente, como demonstra a Figura 2.26.

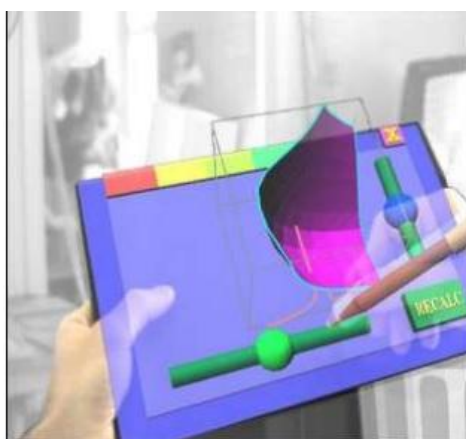


Figura 2.26 – *Tangible interfaces* (Krevelen e Poelman, 2010)

Mais recentemente, foram desenvolvidas interfaces com reconhecimento de gestos, *Haptic interface* e *Visual interface*. As interfaces *Haptic* encontram-se ligadas a robôs, cuja única função é interagir com humanos, através do sentido *haptic*, que se encontra dividido em sentidos cinestésicos (força e movimento) e tátil (tato e toque). Assim, através dos dispositivos *haptic* os

utilizadores interagem com os sistemas de RA (Heidemann *et al.*, 2005), como demonstra a Figura 2.27.

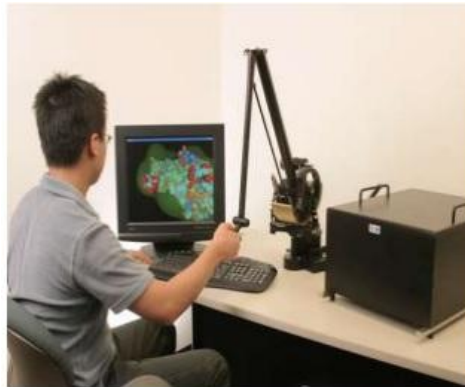


Figura 2.27 – Interação com RA através de um dispositivo *Haptic* (Heidemann *et al.*, 2005)

Ao contrário das anteriormente referidas, as interfaces Visual dispensam a utilização de qualquer tipo de dispositivo, permitindo que as mãos dos utilizadores estejam livres. Através do reconhecimento gestual, o sistema de RA pode elaborar automaticamente relatórios ou documentos (Krevelen e Poelman, 2010). Uma câmara especializada é utilizada para fazer o reconhecimento das mãos dos utilizadores, podendo ser programável com vários conteúdos. A Figura 2.28 mostra o sistema a reconhecer a mão do utilizador como um teclado virtual (Antoniac e Pulli, 2001).



Figura 2.28 – Sistema interpreta gestos da mão e mostra um teclado virtual (Antoniac e Pulli, 2001)

2.4.4. Outros requisitos dos sistemas de RA

Além dos requisitos anteriormente descritos, Höllerer e Feiner (2004) afirmam que os sistemas de RA devem incluir sistemas de *wireless networking*, de armazenamento de dados e acessibilidade tecnológica. Isto é particularmente verdade nos sistemas de RA a ser implementados na IC, devido à extensa quantidade de informação produzida durante os projetos de construção.

Os sistemas de RA irão requerer bases de dados interligadas, por forma a suportar toda a informação produzida e partilhada interactivamente entre os diversos utilizadores da IC. Uma das opções será instalar os sistemas de RA em servidores remotos, conectados aos diversos dispositi-

vos de projeção. Uma opção capaz de albergar os pesados sistemas de RA e toda a informação por si produzida são os sistemas nuvem (Behringer *et al.*, 2000).

Com o desenvolvimento da internet, os sistemas nuvem tornaram-se numa poderosa tecnologia. Utilizados como plataformas para aceder a informação, têm o potencial de estender a sua utilização aos sistemas de RA (Armbrust *et al.*, 2010). Existem diversos tipos de sistemas nuvem (Sakr *et al.*, 2011). Entre eles, o *Software as a Service* (SaaS), revela-se bastante promissor em tornar possível a implementação eficaz dos sistemas de RA no local de obra. Os sistemas nuvem do tipo *SaaS* permitem que as aplicações instaladas no sistema sejam utilizadas pelos diferentes utilizadores, em diferentes dispositivos e localizações geográficas, sem descarregar, instalar, configurar, executar ou usar as aplicações no seu presente dispositivo (Sakr *et al.*, 2011). Por outras palavras, o sistema nuvem serve de motor da aplicação desejada. Esta potencialidade abre espaço à gestão de toda a informação contida nos modelos BIM através dos sistemas nuvem (Redmond *et al.*, 2012).

Num contexto BIM, um ficheiro é tradicionalmente exportado de uma aplicação para depois ser importado por outra. No entanto, este modo de partilha de ficheiro resulta em inúmeras cópias do ficheiro. O sistema *SaaS* permite resolver este problema ao permitir que os dados permaneçam numa aplicação e sejam utilizados e modificados noutra (Redmond *et al.*, 2012). Nos sistemas de RA, a informação virtual fornecida pelo sistema *SaaS*, é atualizada com informação adicional, fazendo com que a informação disponível seja constantemente aumentada. Esta característica é particularmente útil para a supervisão da gestão de produção (Golparvar-Fard *et al.*, 2009).

2.4.5. Áreas de aplicação dos sistemas de RA na Indústria da Construção

A RA é uma tecnologia informática que aumenta o ambiente real através da representação visual de informação. Portanto, para encontrar oportunidades para a melhoria das tarefas de trabalho através da RA, essas tarefas precisam de ser avaliadas segundo o ponto de vista de fatores humanos relacionados com informação visual. Antes de avaliar estas tarefas, é necessário a revisão das principais características dos sistemas de RA, de modo a sugerir soluções baseadas em RA. Segundo Shin e Dunston (2008), as principais características dos sistemas de RA incluem:

- A RA consegue seguir a posição e visão do utilizador através de sistemas de rastreamento;
- A RA consegue impor objetos virtuais sobre a vista do mundo real do utilizador;
- A RA consegue combinar imagens virtuais e imagens reais em tempo real;
- A RA consegue localizar objetos virtuais no cenário do mundo real em uma escala, localização e orientação corretas.

Com a compreensão das características básicas dos sistemas de RA, Shin e Dunston (2008) avaliaram quais as tarefas da construção que podem ser otimizadas com a utilização de

sistemas de RA. O Quadro 2.2 mostra quais as tarefas que beneficiam da aplicação de sistemas de RA à sua execução.

Quadro 2.2 – Tarefas que podem beneficiar com a utilização de sistemas de RA, adaptado de Shin e Duns-ton (2008)

Atividades da Construção	Tarefas
Planear	<p>Coordenação: A direção de obra planeia um plano de trabalhos e trata a alocação dos materiais. Isto requer uma forte percepção do espaço físico do local de obra.</p>
	<p>Estratégia: A direção de obra organiza os trabalhos no início de uma atividade. Desenvolver uma estratégia para estas atividades requer uma percepção 3D do projeto.</p>
Supervisionar	<p>Supervisão: A direção de obra supervisiona a execução dos trabalhos. Esta atividade requer que os intervenientes tenham uma noção clara do projeto previsto quando comparado com o realizado.</p>
	<p>Comentar: A direção de obra comunica através de comentários sobre progresso de obra, sendo essencial descrever corretamente o estado da obra quando se transcreve os comentários para um documento em papel.</p>

Nas tarefas de coordenação, os sistemas de RA, ao sobrepor o modelo 3D do projeto na escala e localização correta, poderão permitir aos gestores de produção uma melhor compreensão das presentes condições das áreas de trabalho (Shin *et al.*, 2008). Os sistemas de RA estão assim retirar o trabalho mental que teria de ser feito pelos responsáveis, por forma a ter uma percepção da organização do local de obra (Wang e Love, 2012).

No que diz respeito às tarefas de estratégia, os sistemas de RA, além de sobrepor o modelo 3D do projeto na escala e localização corretas, adicionam também ao campo de visão dos utilizadores dados virtuais sobre as especificações dos trabalhos em um determinado local (Shin *et al.*, 2008).. Assim, os trabalhadores evitam a consulta de inúmeros desenhos 2D, diminuindo também a quantidade de trabalho mental necessário (Wang e Love, 2012).

A tarefa de supervisão durante o decorrer dos trabalhos de um projeto de construção está normalmente dependente da experiência dos responsáveis e da sua capacidade em interpretar corretamente os desenhos 2D e gráficos planeamento. Nesta tarefa, os sistemas de RA podem fornecer finalmente ferramentas capazes para auxiliar a supervisão. O utilizador, ao sobrepor o modelo

as planned do projeto sobre os elementos construídos, pode detetar facilmente erros construtivos (Shin *et al.*, 2008).

Outra das grandes vantagens da implementação de sistemas de RA na gestão de produção é a sua capacidade de criar canais bidirecionais de comunicação (Wang e Love, 2012). Além do mais, ao anexar informação digital diretamente sobre os modelos previne que a informação seja interpretada incorretamente (Shin *et al.*, 2008). Finalmente, quaisquer alterações ou instruções que seja necessário fazer – normalmente esta informação é inserida manualmente, em desenhos ou em documentos em papel – são realizadas através dos sistemas de RA sobre o modelo virtual. Assim, é evitada a necessidade de folhear inúmeros desenhos ou documentos na procura de informação (Shin *et al.*, 2008).

A capacidade dos sistemas de RA é já bastante reconhecida (Behzadan e Kamat, 2005)(Golparvar-Fard *et al.*, 2009) (Shin e Dunston, 2008), apesar das limitações em termos de precisão das suas tecnologias de rastreamento. Num contexto paralelo, o BIM já se tornou uma referência no processo de desenho dos projetos da IC. No entanto, as suas potencialidades nas áreas da comunicação em obra estão longe de ser atingidas (Wang e Love, 2012). A integração de modelos BIM com sistemas de RA é vista como a resposta para transpor os modelos BIM para um contexto físico (Wang e Love, 2012). Além do mais, a IC é reconhecida como um dos setores mais promissores para aplicação de sistemas de RA integrados com modelos BIM (Woodward *et al.*, 2010).

2.4.6. Sinergias entre BIM e RA

Projetar em BIM é uma coisa, e efetivamente construir de acordo com o planeado é outra. Durante a construção, a informação gerada através dos modelos BIM, deve conduzir os resultados do trabalho da construção. A utilização de sistemas de RA para a projeção dos modelos BIM em obra pode fornecer toda a informação contida nestes modelos aos trabalhadores do local de obra. Obviamente, esta integração poderá proporcionar significativos benefícios à gestão de produção (Wang e Love, 2012):

- Identificação de interdependência das tarefas da construção;
- Apresentação da informação digital sobre a vista do ambiente do real dos trabalhadores em obra;
- Uniformização das interpretações individuais do projeto;
- Controlo e monitorização do progresso de obra;
- Rastreamento e gestão do fluxo de material;
- Organização dos materiais em estaleiro.

A integração de modelos BIM com sistemas de RA é uma área de investigação que se encontra numa fase bastante embrionária. Os estudos realizados na área focam-se principalmente

no desenvolvimento de estruturas conceituais para integração de ambas as tecnologias (Park *et al.*, 2013; Wang e Love, 2012). Apesar desta tendência, alguns sistemas robustos já foram desenvolvidos. Entre eles o projeto *AR4BC* (Woodward *et al.*, 2010), desenvolvido pelo *Technical Research Center of Finland* (VTT), utiliza a projeção do modelo BIM 4D através de RA com o objetivo de monitorizar o progresso de obra. A Figura 2.29 e a Figura 2.30 mostram o referido sistema a projetar um modelo virtual sobre a vista real do utilizador.

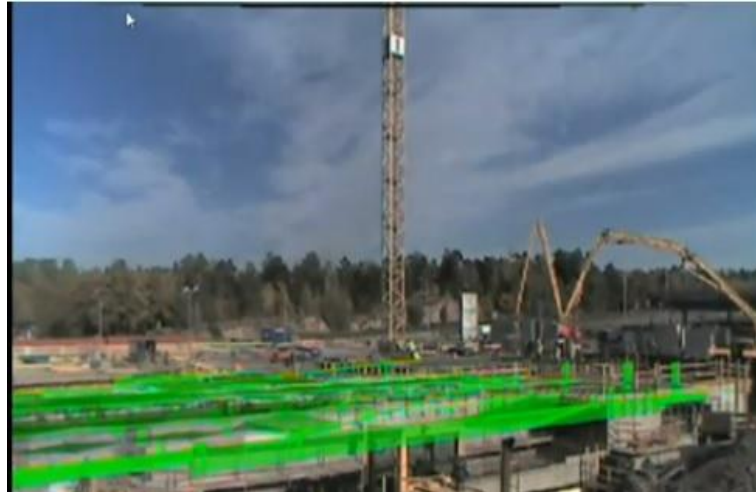


Figura 2.29 – Sistema AR4BC (Woodward *et al.*, 2010)



Figura 2.30 – Sistema AR4BC (Woodward *et al.*, 2010)

Outro sistema desenvolvido foi o *iHelmet* (Yeh *et al.*, 2012), que consiste na projeção de planos de pormenor (retirados do modelo BIM) sobre superfícies. Este sistema permite aos trabalhadores em obra consultar as especificações do trabalho que estão a executar ao visualizar a informação digital dos modelos BIM sobre qualquer superfície, como mostra a Figura 2.31.



Figura 2.31 – Sistema *iHelmet* a projetar informação digital (Yeh *et al.*, 2012)

3. METODOLOGIA

O objetivo da presente investigação centrou-se no desenvolvimento de um modelo de uma plataforma conceptual “C-BIM-thru-AR”, capaz de integrar o BIM e a RA nos processos da GNC. Assim, o presente estudo seguiu as diretrizes sugeridas pela *National Institute of Standards and Technology* (NIST) para o desenvolvimento de novos sistemas. Segundo a NIST, aquando do desenvolvimento de qualquer novo sistema é recomendado a exploração de três passos distintos (NIST, 1993), como ilustrado na Figura 3.1. Primeiro definem-se requisitos funcionais para o sistema. Segundo, com base nos requisitos definidos, desenvolve-se o conceito do sistema. Por último, com todas as características e funções claramente definidas, constrói-se o sistema. A última fase não irá ser coberta pelo presente estudo.

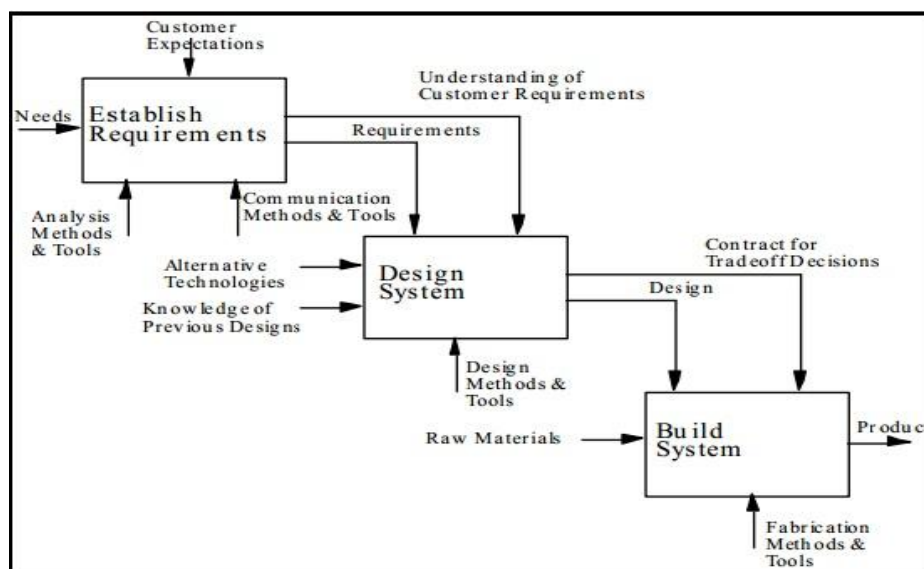


Figura 3.1 – Fases do desenvolvimento de um sistema (NIST, 1993)

Tendo isto presente, a investigação foi dividida em três fases tendo em conta os objetivos parcelares previamente delineados:

- Identificar as capacidades e limitações dos sistemas de RA;
- Averiguar as interações entre o BIM e a RA;
- Identificar deficiências e lacunas de um SGQ implementado por uma PME na GNC;
- Definir os requisitos funcionais necessários da plataforma por forma a responder às deficiências e lacunas do SGQ analisado;
- Desenvolver uma estratégia para a integração do BIM e RA nos processos previstos por um SGQ para a GNC.

A primeira fase da investigação centrou-se numa revisão da literatura por forma a identificar claramente as características dos sistemas de RA e suas interações com o BIM. A segunda fase centrou-se na determinação dos requisitos funcionais da plataforma de modo a torná-la viável. Por forma a emprender esta análise, foi realizada uma análise de um caso de estudo que resultou na revisão de todos os processos incluídos na GNC, previstos no manual de qualidade de uma empresa de construção Portuguesa. Com os requisitos funcionais identificados, deu-se início à terceira fase, correspondente à conceção da plataforma proposta. Na Figura 3.2 pode observar-se os passos da metodologia proposta para o desenvolvimento do modelo conceptual “C-BIM-thru-AR”.

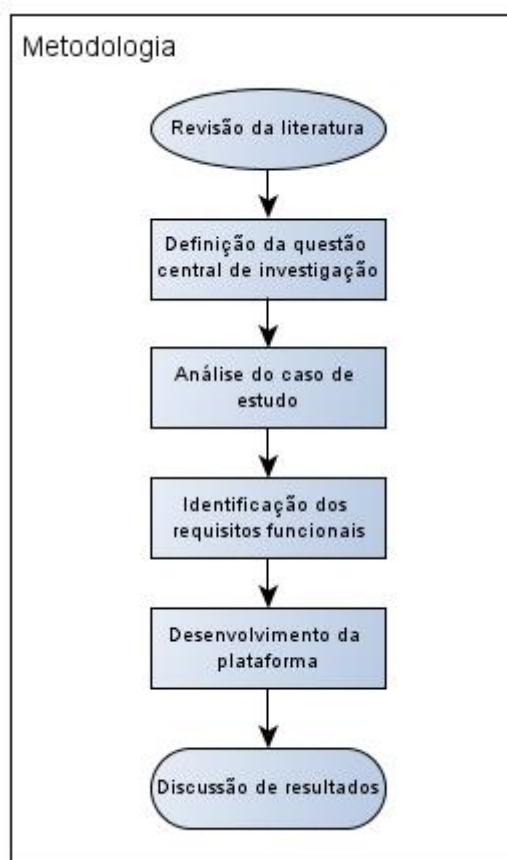


Figura 3.2 – Passos da metodologia

3.1. Análise do caso de estudo

O objetivo a alcançar com análise do caso de estudo referiu-se à identificação dos requisitos funcionais necessários para uma plataforma ser capaz de responder às deficiências e lacunas dos atuais SGQ na GNC. Deste modo na análise do caso de estudo procedeu-se segundo os passos apresentados na Figura 3.3.

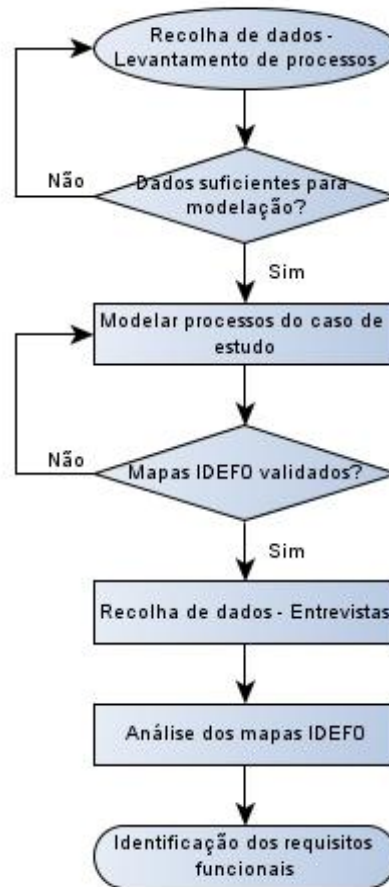


Figura 3.3 – Passos da análise do caso de estudo

3.1.1. Seleção e caracterização do caso de estudo

Com o objetivo de desenvolver um modelo de uma plataforma capaz de ser incorporada na GNC, era necessário um caso de estudo onde o referido processo estivesse implementado no decorrer de um projeto de construção. O caso de estudo foi cedido por uma empresa de construção Portuguesa, incluindo todos os documentos necessários à análise do processo e a disponibilidade dos seus colaboradores para a realização de entrevistas. De referir que todos os documentos facultados pela empresa e informação pessoal proveniente das entrevistas, encontram-se protegidos por um acordo de confidencialidade.

A decisão de analisar o processo de GNC prendeu-se com três factos: a importância deste processo no decorrer do progresso de uma obra; o espaço existente para a melhoria da sua eficiência e eficácia quando realizado segundo os meios tradicionais; o peso que representa nas derrapagens orçamentais dos projetos de construção. Deste modo, a empresa escolhida para o caso de estudo deveria ser representativa do tecido empresarial do setor das Pequenas e Médias Empresas (PME) da construção. De modo a verificar esse critério teria de cumprir os seguintes parâmetros:

- Ser caracterizada como PME consoante definição (Europeia, 2006):
 - Número de trabalhadores (efetivos) entre dez e duzentos e cinquenta;

- Volume de negócios anual entre os dez e cinquenta milhões de euros;
- Balanço total anual entre os dez e quarenta e três milhões de euros.
- Empreiteiro Geral de construção de edifícios;
- Estrutura organizacional constituída por direções/departamentos interdependentes;
- Certificada no âmbito do sistema de gestão de qualidade (ISO 9001);
- Certificada no âmbito do sistema de gestão de segurança, saúde e trabalho;
- Utilização de regime de subcontratação na produção de obra;
- Meios de comunicação e partilha de informação tradicionais.

3.1.2. Recolha de dados – Levantamento de processos

A análise iniciou-se com a recolha de dados provenientes de fontes secundárias. O intuito deste passo foi o de recolher dados suficientes para modelação do processo atual de GNC.

Este processo encontra-se implementado na empresa que cedeu o caso de estudo, através do seu manual de qualidade e de alguns protocolos de processos da empresa. Assim, a recolha de dados secundária proveio das duas fontes referidas. A compreensão dos conceitos do manual de qualidade foi fundamental para a modelação dos processos/atividades incluídos na GNC. Os dados secundários foram utilizados para compreender quais os *inputs*, controlos, mecanismos e *outputs* - parâmetros dos mapas IDEF0 – por forma a modelar o estado atual do processo de GNC. Os dados recolhidos dos protocolos tiveram como objetivo complementar lacunas e alterações entretanto efetuadas no manual de qualidade da empresa.

3.1.3. Modelação dos processos do caso de estudo

Finda a recolha de dados provenientes do manual de qualidade e dos protocolos da empresa, deu-se início à modelação das atividades do atual processo de GNC. De modo a modelar eficazmente todos os processos, atividades e tarefas incluídos na GNC, foi escolhida a técnica de modelação *Integrated Definition for Function Modeling* (IDEF0), (NIST, 1993).

O IDEF0 é uma técnica de modelação que consiste na elaboração de uma cadeia de diagramas, ou vulgarmente denominados por mapas IDEF0. A modelação inicia-se no processo geral e desenvolve-se até a um processo específico, onde um diagrama (diagrama de contexto) representa todo o processo e engloba uma série de diagramas mais detalhados que explicam como as subsecções do processo funcionam (Kassem *et al.*, 2011), como representa a Figura 3.4.

Além desta técnica ser considerada como uma boa ferramenta para análise de processos (Kassem *et al.*, 2011), Shen *et al.*, (2004) afirmam que este tipo de técnicas são insubstituíveis para identificação e recolha de requisitos funcionais de sistemas. Assim sendo, a escolha desta técnica assegurou a identificação dos requisitos funcionais.

Por forma a identificar claramente as deficiências e lacunas do SGQ, nesta análise não foi averiguado se os processos previstos no manual de qualidade eram de facto implementados na empresa. Assim, a modelação dos mapas limitou-se a representar fidedignamente o processo da GNC previsto no manual de qualidade da empresa.

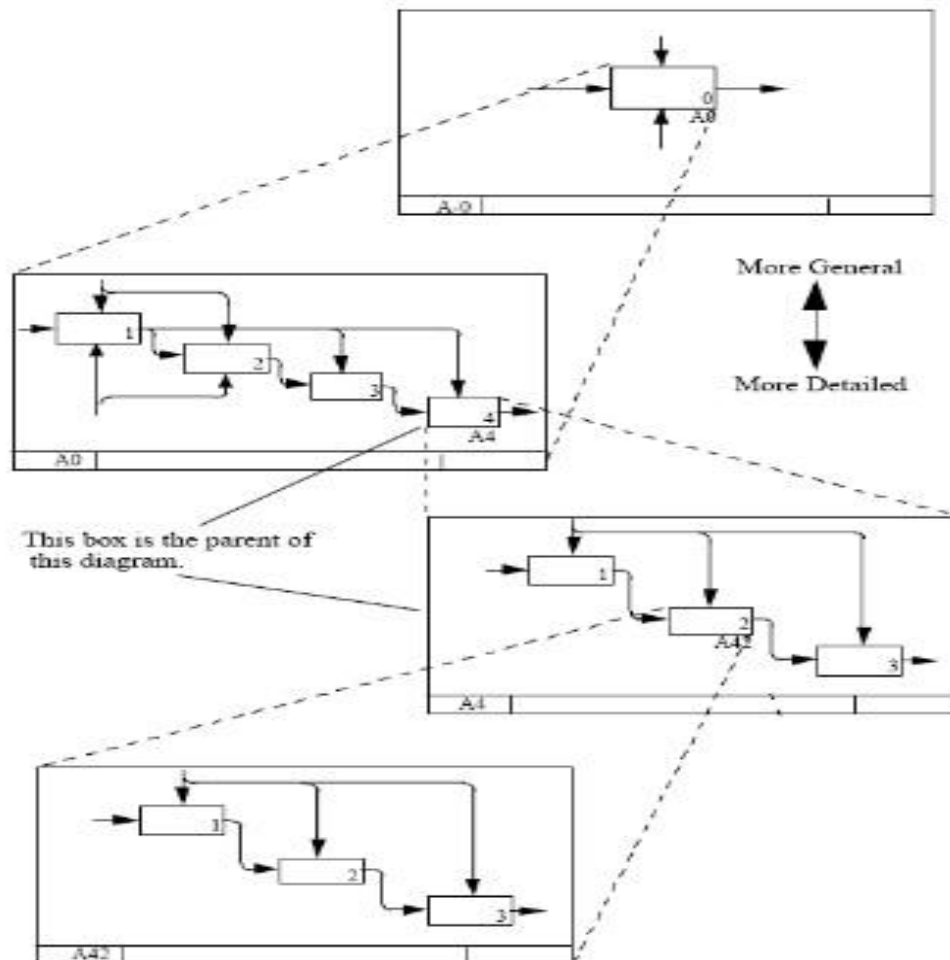


Figura 3.4 – Estrutura de decomposição dos mapas IDEF0 (Kassem *et al.*, 2011)

3.1.4. Validação dos mapas IDEF0

De acordo com o NIST (NIST, 1993), os mapas IDEF0 são validados com recurso ao ciclo *author-reader*. Este ciclo consiste na avaliação dos mapas por parte de indivíduos com conhecimento e experiência suficiente no processo alvo de modelação. O autor dos mapas ao considerar finalizada a modelação, envia-os para validação. Os responsáveis pela validação apontam lacunas ou erros diretamente nos mapas e enviam a sua revisão ao autor. O ciclo encerra quando autor e responsáveis pela validação concordarem que os mapas IDEF0 representam efetivamente o caso em análise.

3.1.5. Recolha de dados – Entrevistas

Esta fase iniciou-se com um conjunto de entrevistas aos intervenientes diretos do processo – fontes primárias. A informação foi recolhida através de entrevistas semiestruturadas. O obje-

tivo centrou-se em averiguar qual a situação atual do processo de GNC. Assim, foi inquirido se os processos representados nos mapas IDEF0 eram de facto implementados na empresa, o porquê dos processos não serem implementados, quais as principais deficiências do atual processo de GNC, e quais as necessidades profissionais dos intervenientes. Encontra-se em anexo o formato utilizado durante as entrevistas

3.1.6. Análise dos mapas IDEF0 e identificação dos requisitos funcionais

Com a informação recolhida das entrevistas e a informação contida nos mapas IDEF0, efetuou-se a análise do estado atual do processo GNC. Esta análise teve como objetivo identificar claramente quais os processos previstos no manual de qualidade que não eram implementados e que deficiências e lacunas o atual processo de GNC apresentava. Assim, recorreu-se a uma análise do tipo *Gap Analysis* (Bowen, 2011), apropriada para identificação de planos de ação capazes de eliminar lacunas ou deficiências de processos. Este tipo de análise consiste na definição de um objetivo de um processo, levantamento atual da execução desse processo, identificação das lacunas e/ou deficiências do processo a impedir a realização do objetivo e por fim na definição de um plano de ação que visa eliminar as lacunas e deficiências. A Figura 3.5 representa o formato de um quadro proveniente de uma *Gap analysis*.

DATADA ANÁLISE			
OBJETIVO ESTRATÉGICO	SITUAÇÃO ATUAL	DEFICIÊNCIA	PLANO DE AÇÃO

Figura 3.5 – Estrutura característica de uma *Gap Analysis*, adaptado de Bowen (2011)

Apenas os mapas do nível de detalhe mais elevado foram analisados, visto os respetivos mapas representarem as tarefas elementares do processo. Ao identificar as deficiências e lacunas a este nível de detalhe, pode afirmar-se que as respetivas atividades apresentam deficiências ou lacunas - o contrário não pode ser afirmado. Cada coluna dos quadros foi preenchida com informação proveniente de diferentes fontes. Assim, os objetivos do processo diriam respeito aos outputs de cada mapa IDEF0 analisado e a informação da situação atual seria retirada do mapa correspondente – onde se representam os processos previstos no manual de qualidade. As deficiências ou lacunas seriam retiradas das entrevistas realizadas. Por fim os planos de ação seriam propostos para eliminar as deficiências e lacunas do SGQ analisado. Com os planos de ação definidos, foram materializados os requisitos funcionais a serem incorporados na plataforma.

3.2. Desenvolvimento da plataforma “C-BIM-thru-AR”

O desenvolvimento da plataforma proposta baseou-se nos passos ilustrados na Figura 3.6. Com os requisitos funcionais da plataforma definidos, procedeu-se ao desenvolvimento da estrutura da plataforma. O desenvolvimento da plataforma assentou sobre uma abordagem de *systems thinking* (Weinberg, 2001), onde a plataforma é considerada um subsistema do sistema GNC.

O segundo passo correspondeu à modelação dos processos da plataforma com recurso à técnica IDEF0. Esta técnica foi seleccionada para este propósito pois é habitualmente utilizada no desenvolvimento dos processos de novos sistemas (Kassem *et al.*, 2011).

Com os processos da plataforma modelados iniciou-se o desenvolvimento do ciclo de funcionamento da plataforma. Neste caso, a limitação da técnica IDEF0 em modelar ciclos foi compensada pela aplicação do *systems thinking* (Weinberg, 2001), onde cada ambiente de trabalho é visto como um subsistema do sistema GNC.

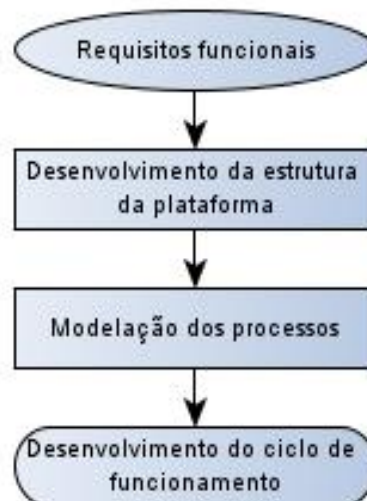


Figura 3.6 – Passos para o desenvolvimento da plataforma

4. ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO

No presente capítulo, a análise do caso de estudo teve como finalidade o mapeamento de todos os processos incluídos no processo de GNC, realizado por uma empresa de construção portuguesa ao longo da fase de construção de um projeto. A modelação dos processos realiza-se através da implementação da metodologia IDEF0, apresentada no capítulo três. Posteriormente, utilizando uma abordagem *gap analysis*, também descrita no capítulo três, efetua-se uma análise dos mapas modelados com o intuito de identificar quais as deficiências do processo atual. Com base nos resultados recolhidos na análise, procede-se à definição dos requisitos funcionais para a conceção de uma plataforma comunicativa. Esta deverá melhorar a qualidade e a eficácia dos meios de comunicação e de partilha de informação entre os diversos colaboradores da empresa.

4.1. Caracterização do caso de estudo

O caso de estudo selecionado para o desenvolvimento da dissertação diz respeito aos processos incluídos na GNC, por parte de uma empresa característica de construção civil portuguesa.

Esta empresa desenvolve a sua atividade como empreiteiro geral de obras públicas e particulares, nomeadamente na construção de edifícios de habitação, comércio e indústria. Recorre a um regime de subcontratação para o desenvolvimento dos projetos em que participa. É certificada tanto no sistema de gestão de qualidade (ISO 9001) como no de gestão de segurança, saúde e trabalho (OSHAS 18001).

A empresa é organizada numa estrutura de departamentos interdependentes para desenvolvimento da sua atividade. Emprega cerca de oitenta trabalhadores, distribuídos pelos departamentos de produção de obras, comercial e administrativo/financeiro. O departamento de produção é constituído por cerca de sessenta trabalhadores, distribuídos pela direção de produção, planeamento e qualidade e segurança. No departamento comercial operam vulgarmente cinco trabalhadores divididos na direção comercial e proposta/orçamentos. O departamento administrativo/financeiro inclui a direção financeira, o serviço de contabilidade e o serviço administrativo, onde laboram quinze trabalhadores.

Com base nos critérios referidos no capítulo três, a empresa selecionada é a imagem típica das PME do país:

- Emprega cerca de 80 trabalhadores;
- Obteve em 2011 um volume de negócios anual na ordem vinte e sete milhões de euros;
- Apresentou um balanço total anual de vinte e três milhões de euros.

4.2. Modelação e análise dos processos do caso de estudo

Os fluxogramas com os processos, subprocessos, atividades, tarefas e fluxos de interação do modelo que representa o processo de GNC são apresentados em seguida. A parte textual associada a cada mapa expõe, individualmente, o propósito e objetivos de cada mapa.

O modelo “Gestão da produção – gestão de não conformidades” ilustrado na Figura 4.1, representa todo o processo para a GNC, cujo objetivo é realizar a execução dos trabalhos de empreitada de acordo com os padrões contratados, finalizando o processo com a elaboração do correspondente auto de receção provisória, sem ressalvas. Este modelo descreve a NC a partir do ponto de vista da empresa de construção, desde o controlo e supervisão durante o período de construção até à entrega provisória do empreendimento.

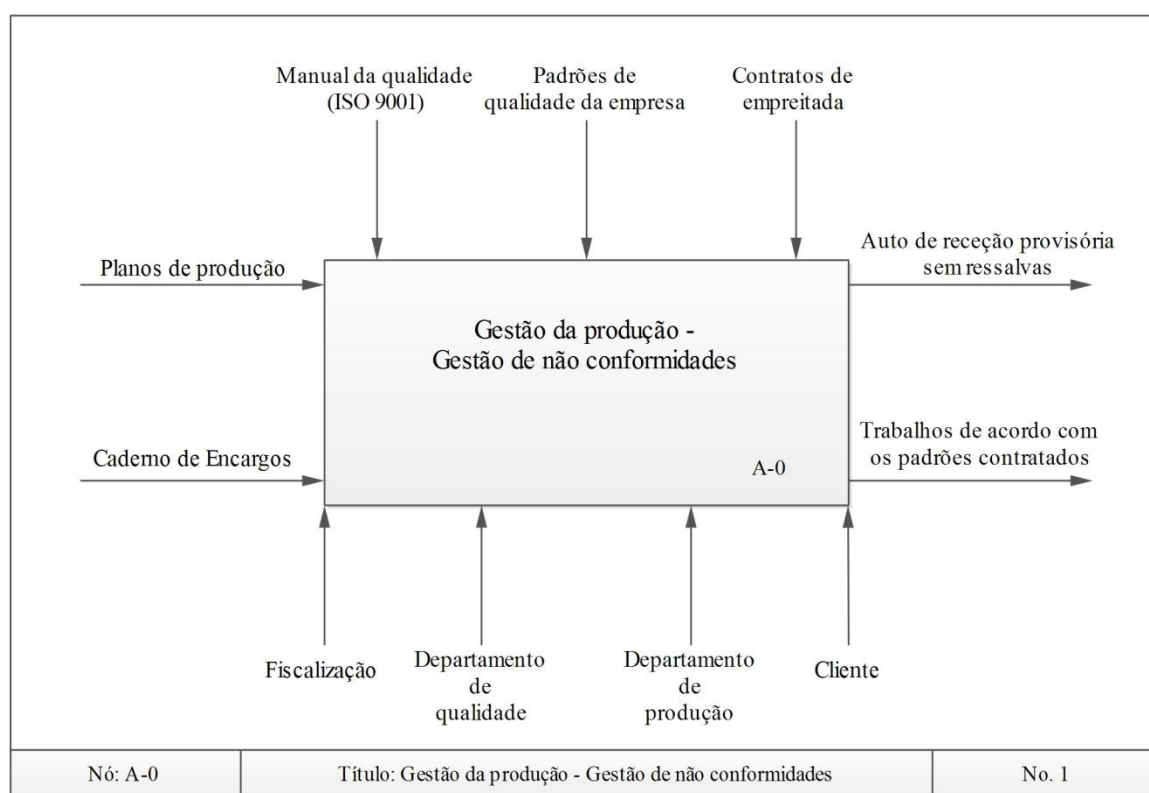


Figura 4.1 – Modelo de contexto

4.2.1. Lista de atividades

A0 – Gestão de não conformidades

A1 – Decisão sobre subempreitadas e compras

A11 – Avaliação de fornecedores e subempreiteiros

A111 – Reunir e organizar informação do desempenho de fornecedores e subempreiteiros

A112 – Analisar dados e tomar decisões sobre o desempenho

A113 – Comunicar resultados ao gestor da qualidade

A12 – Controle de documentos e registos

- A121 – Verificar e validar documento
- A122 – Atualizar LFS e informar direções da publicação da LFS
- A123 – Divulgar LFS dentro das direções
- A13 – Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros
 - A131 – Analisar comparativamente LFS aprovada
 - A132 – Excluir fornecedores e subempreiteiros
 - A133 – Escolher a proposta mais vantajosa
 - A134 – Elaborar e validar contratos de adjudicação e notas de encomenda

A2 – Execução da empreitada

- A21 – Gestão de materiais
 - A211 – Rececionar materiais
 - A212 – Verificar e registar conformidade dos materiais
 - A213 – Registar na folha de movimentos de materiais
 - A214 – Conferência de faturas
- A22 – Gestão da execução de trabalhos
 - A221 – Executar trabalhos
 - A222 – Supervisionar trabalhos
 - A223 – Registar trabalhos completos

A3 – Controlo dos padrões de qualidade

- A31 – Gestão de materiais não conformes
 - A311 – Identificar material não conforme
 - A312 – Registar e atribuir demérito em cadastro
 - A313 – Requisitar nova encomenda
- A32 – Gestão de trabalhos não conformes
 - A321 – Registar ocorrência no Relatório de Ocorrência
 - A322 – Notificar Diretor de Produção
 - A323 – Analisar causas
 - A324 – Definir medida corretiva
 - A325 – Implementar medida corretiva
- A33 – Obtenção dos padrões de qualidade contratados
 - A331 – Realizar testes e/ou medições
 - A332 – Registar resultados em ata
 - A333 – Verificar eficácia das ações implementadas
 - A334 – Fechar e arquivar Relatório de Ocorrência

A4 – Receção provisória

- A41 – Solicitação do cliente para intervenção

A411 – Realizar vistoria conjunta

A412 – Registrar ocorrência

A42 – Realização da intervenção e respectiva verificação

A421 – Analisar ocorrência (aceite ou não)

A422 – Desencadear medidas corretivas

A423 – Realizar testes e/ou medições

A43 – Requerimento do Auto de Receção Provisória

A431 – Realizar vistoria final

A432 – Elaborar Auto de Receção Provisória

4.2.2. Lista de fluxos

A

Ação corretiva

Ação implementada

Ação implementada e eficaz

Anomalias detetadas pelo cliente

Auto de Receção Provisória sem ressalvas

C

Cadastro de Fornecedores e Subempreiteiros (CFS)

CFS atualizado

Cadernos de Encargos

Causas identificadas

Contratos de adjudicação

Cumprir requisitos

D

Dados

Documento conforme

G

Guias de Remessa validadas

Grupo de trabalho

L

Lista de Fornecedores e Subempreiteiros (LFS)

LFS aprovada

LFS atualizada

M

Materiais conformes

Materiais em *stock*

Material identificado

Materiais não conformes

Materiais não inspecionados

N

Não cumpre requisitos

Necessidade de alterar documento

Necessidade de nova encomenda

Notas de Encomenda

Nova Nota de Encomenda

P

Planos de produção

Proposta

R

Reclamações e/ou ocorrências

Relatório de Ocorrência (RO)

RO (atualizado)

RO (fechado e arquivado)

RO (receção provisória)

Resultados

T

Trabalhos completos

Trabalhos de acordo com o contratado

Trabalhos executados

Trabalhos fechados

Trabalhos não conformes

Trabalhos por vistoriar

4.2.3. Mapa A0 – Gestão de produção de obra – Gestão de não conformidades

4.2.3.1 Modelação do processo

O propósito do processo ilustrado na Figura 4.2 é controlar e supervisionar toda a fase construtiva de um projeto, permitindo a construção da obra em conformidade com o projeto e com os padrões de qualidade contratados. Este processo pretende assegurar a realização dos principais objetivos da empresa tais como, manter uma relação produtiva e positiva com o cliente e com os subempreiteiros e fornecedores, e assegurar uma produção contínua e sem incidentes. Neste modelo o controlo da produção de obra está dividido em quatro subprocessos.

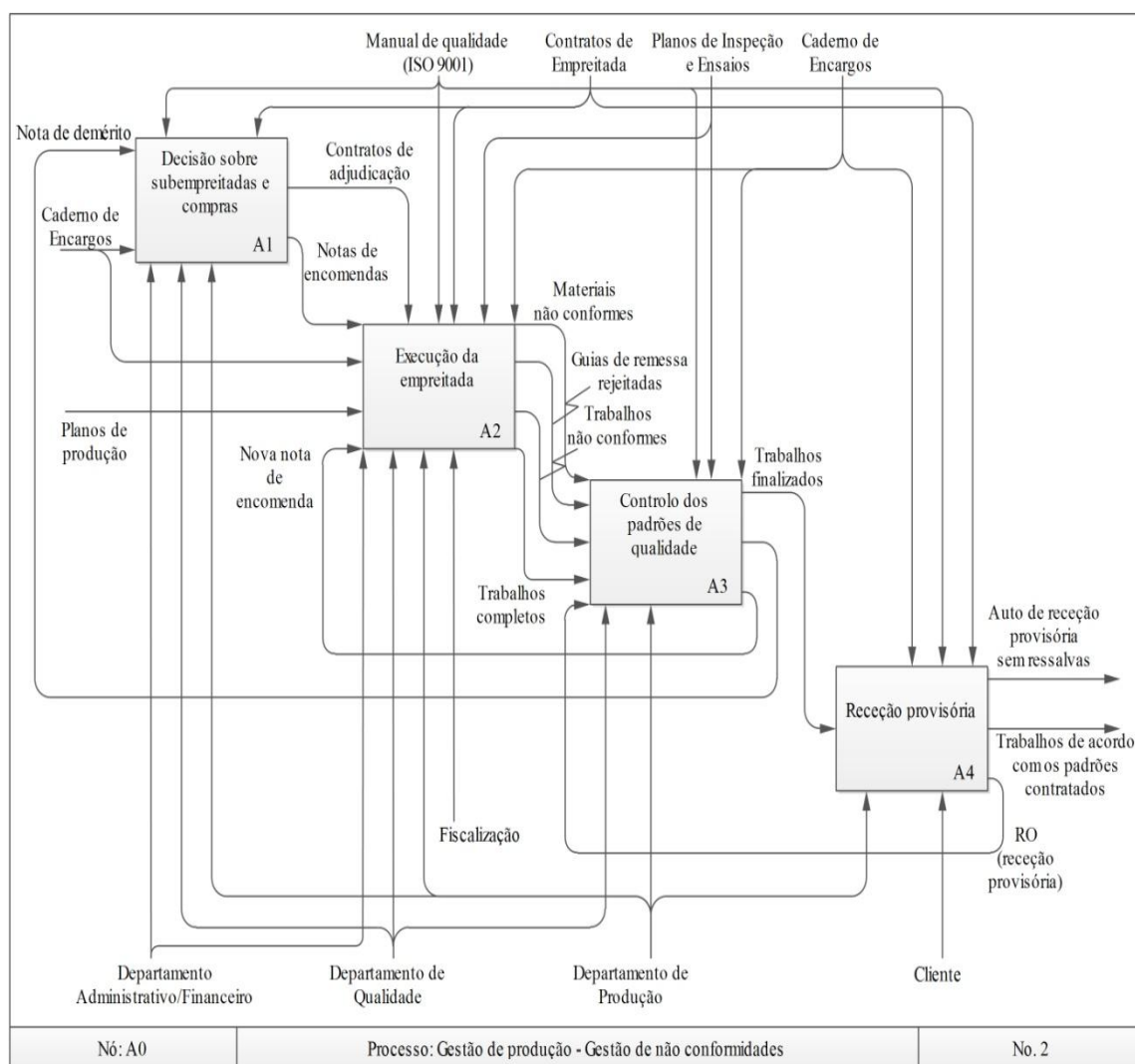


Figura 4.2 – Gestão de produção – Gestão de não conformidades

4.2.4. Mapa A1 – Decisão sobre subempreitadas e compras

4.2.4.1 Modelação do processo

O propósito do subprocesso “Decisão sobre subempreitadas e compras” (Figura 4.3) relaciona-se com a necessidade de seleccionar os fornecedores e subempreiteiros mais capazes para garantir os padrões de qualidade e custos de um determinado projeto.

O desenvolvimento deste subprocesso baseia-se num método de seleção que avalia e classifica o desempenho de subempreiteiros e fornecedores contratados pela empresa. As avaliações e classificações são materializadas na Lista de Fornecedores e Subempreiteiros Aprovada, que permite às direcções uma decisão mais eficaz sobre as empresas a subcontratar para o desenvolvimento de um projeto. Por forma a cumprir as diretrizes da norma ISO 9001, o subprocesso controla alterações realizadas a documentos e/ou registos incorporados no SGQ da empresa.

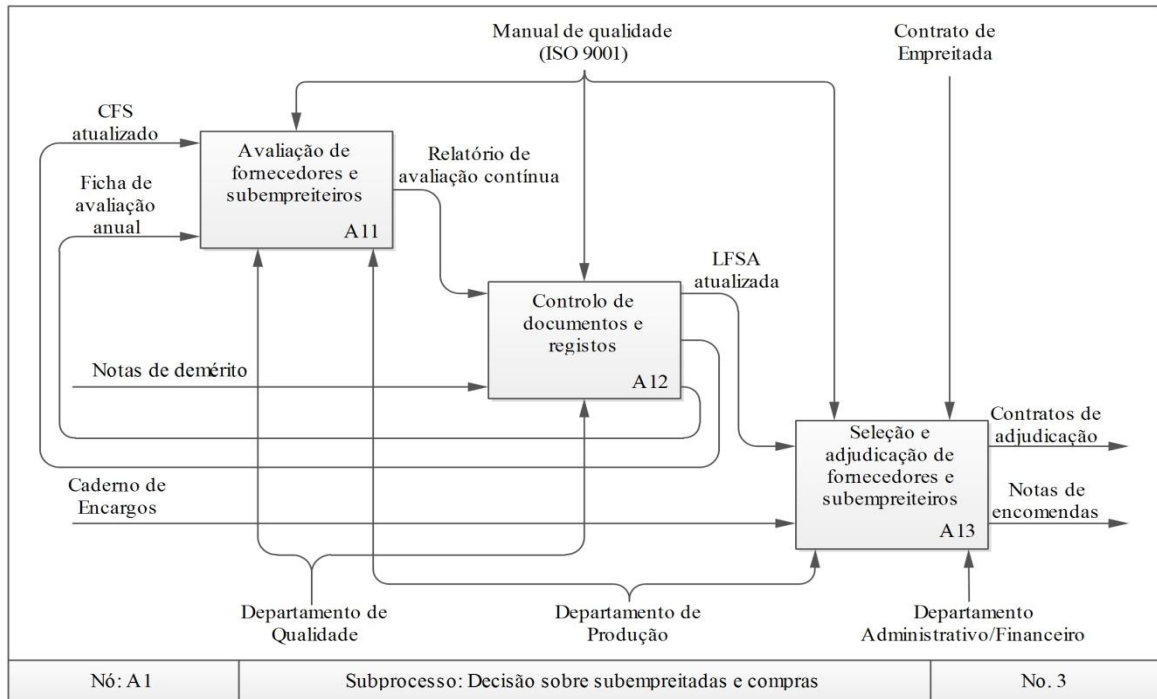


Figura 4.3 – Decisão sobre subempreitadas e compras

4.2.5. Mapa A11 – Avaliação de fornecedores e subempreiteiros

4.2.5.1 Modelação do processo

A finalidade da atividade “Avaliação de fornecedores e subempreiteiros”, representado na Figura 4.4, é assegurar a avaliação periódica de fornecedores e subempreiteiros.

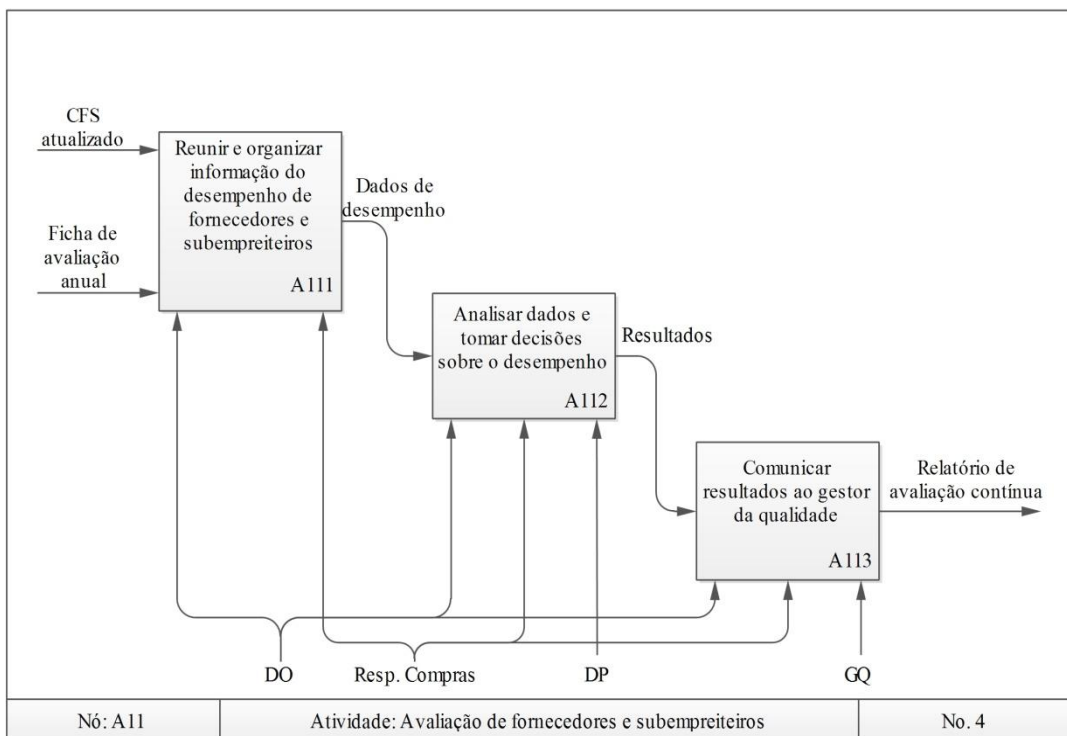


Figura 4.4 – Avaliação de fornecedores e subempreiteiros

4.2.5.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Atualizar LFSA.

Situação atual:

A atividade é iniciada com a reunião de toda a informação disponível sobre o desempenho dos avaliados. Esta informação encontra-se nos registos da empresa destinados à avaliação dos seus subcontratados, da qual faz parte um Cadastro de Fornecedores e Subempreiteiros, e uma Avaliação de Fornecedores e Subempreiteiros. Este último registo é mantido em arquivo vivo durante um ano e em arquivo morto durante dois anos. Com toda a informação necessária recolhida, esta é analisada e são tomadas decisões sobre a exclusão ou não dos avaliados da Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados da empresa. Existindo a necessidade de alteração da lista, é elaborado um Relatório de Avaliação para comunicação ao departamento de qualidade. Este relatório é mantido em arquivo vivo durante dois anos e em arquivo morto um ano. A atividade é finalizada com a transcrição das decisões tomadas na Ata de Reunião de Avaliação.

Deficiências:

O cadastro de fornecedores e subempreiteiros é atualizado sistematicamente em relação às notas de demérito. Estas notas são elaboradas em documentos de papel no decorrer de qualquer projeto em que a empresa esteja envolvida pelo correspondente diretor de obra. Aquando da negociação de um novo contrato de adjudicação a fornecedores e/ou subempreiteiros – novo projeto ganho pela empresa - a informação sobre a recente conduta destes poderá ainda não estar atualizada no cadastro de fornecedores e subempreiteiros. Inclusive, a exclusão de um subcontratado poderá já ter sido recomendada na altura da negociação do novo contrato.

Plano de ação:

Criar novos canais de comunicação entre as partes intervenientes no processo, capazes de partilhar informação de forma precisa e em tempo real sobre o desempenho de fornecedores e subempreiteiros.

4.2.6. Mapa A12 – Controle de documentos e registos

4.2.6.1 Modelação do processo

O propósito da atividade representada na Figura 4.5 relaciona-se com a definição do modo de elaboração, codificação, validação, distribuição, implementação, alteração / anulação, controlo e arquivo dos documento e/ou registos relativos ao SGQ da empresa.

Como a atividade anterior (Figura 4.4) obriga à alteração de um documento integrado no Sistema de Gestão da Qualidade da empresa (Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados) é necessário um controle adequado dessa alteração, por forma a garantir que o documento continue a cumprir com as diretrizes da norma ISO 9001.

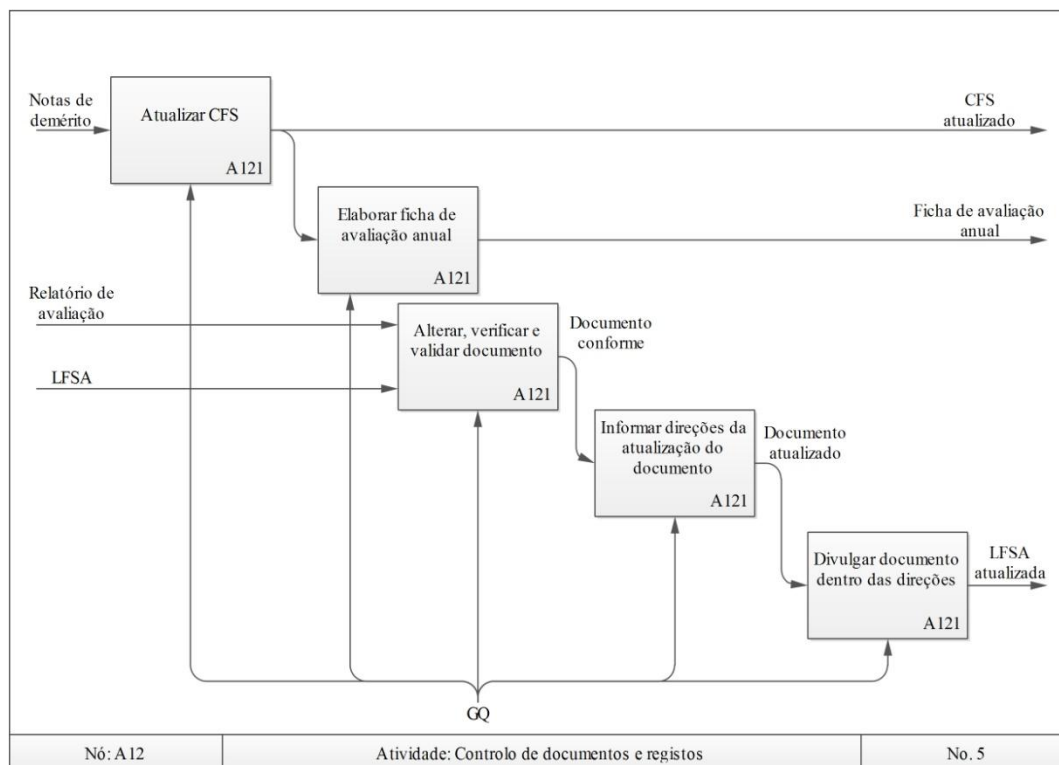


Figura 4.5 – Controle de documentos e registos

4.2.6.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Aprovar e divulgar a nova Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados.

Situação atual:

Ao existir a necessidade de alterar um documento integrado no SGQ da empresa, o gestor de qualidade controla a alteração da Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados e do Cadastro de Fornecedores e Subempreiteiros. A alteração de um documento pode ser proposta por qualquer um dos seus utilizadores. Este avalia a pertinência da alteração proposta. Todas as alterações são verificadas para garantir a sua adequabilidade com as Normas de referência, requisitos legais e com o SGQ. No índice de revisão situado no início do documento, o campo de revisão é alterado para o número a seguir (o índice de revisão de um documento na altura da sua criação é o 00). O gestor de qualidade indica a natureza das alterações sofridas pelo documento na Lista de Distribuição e Revisão. A aprovação de um documento em revisão é feita pelas mesmas funções que validaram o documento original, sempre que possível. Os documentos validados são arquivados nas pastas correspondentes ao tipo de documento, indicando a sua data e índice de revisão. O gestor de qualidade é responsável pela atualização das pastas do SGQ. O gestor de qualidade arquiva o exemplar original da versão obsoleta em *dossier* próprio, sendo o documento identificado com menção vermelha “OBSOLETO”, assinatura do gestor de qualidade e data no verso. Em seguida coloca o documento em rede na área prevista para o efeito. Identifica as Divisões onde o documento se aplica e define a lista de distribuição. Finalmente, informa os destinatários da

publicação do documento por correio eletrónico e recolhe e arquiva os recibos de leitura. Esta distribuição aplica-se em casos em que a documentação tenha que se encontrar constantemente atualizada junto dos utilizadores.

Deficiências:

Devido ao número de atualizações do Cadastro de Fornecedores e Subempreiteiros - e consequentemente da Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados - estar muito interligado com a quantidade de projetos em curso, o gestor de qualidade pode sentir dificuldades em processar todos os pedidos de alteração de documentos.

Plano de ação:

Desenvolver um sistema de atualização e distribuição automática dos documentos incorporados no SGQ, onde o gestor de qualidade teria apenas de definir as listas de distribuição apropriadas.

4.2.7. Mapa A13 – Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros

4.2.7.1 Modelação do processo

A finalidade da atividade “Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros” (Figura 4.6) é selecionar fornecedores e subempreiteiros e encomendar/adjudicar bens ou serviços adequados às necessidades dos utilizadores/empreitadas.

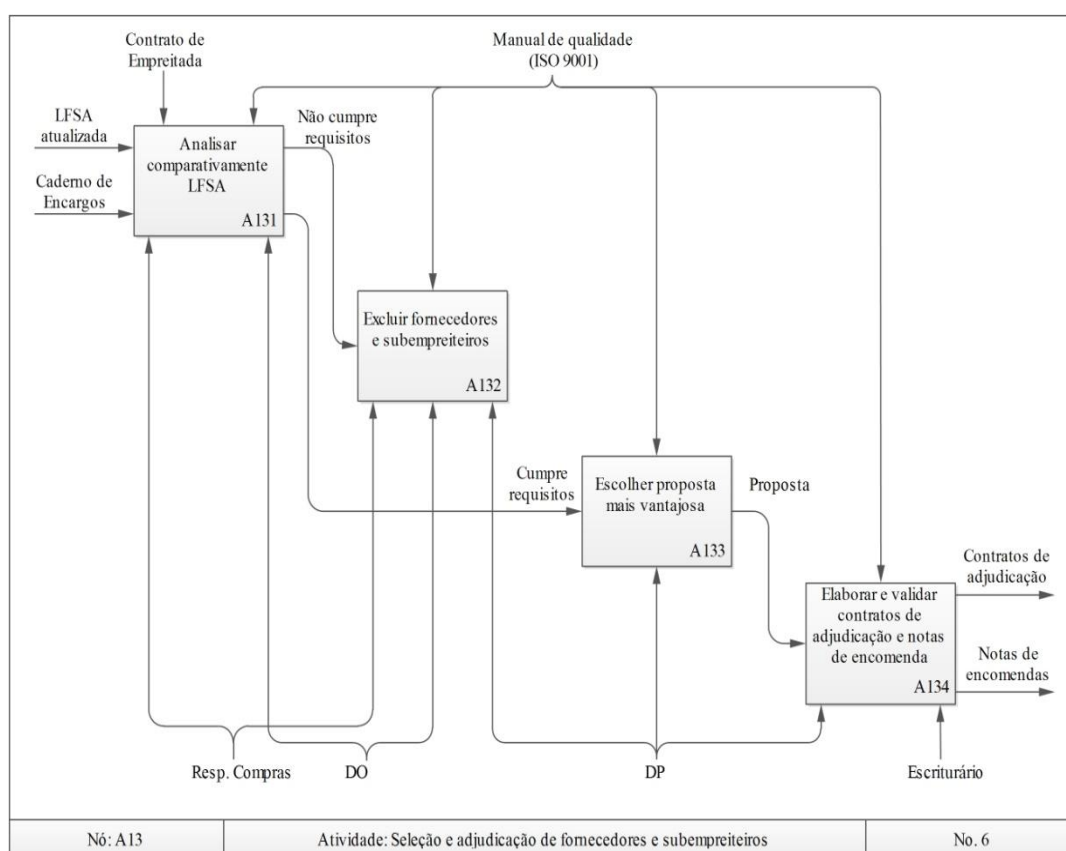


Figura 4.6 – Seleção e adjudicação de fornecedores e subempreiteiros

Com base na análise da Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados e do Caderno de Encargos são escolhidos os fornecedores e subempreiteiros que cumpram com os requisitos necessários ao desenvolvimento de um determinado projeto. Entre estes, são selecionados os que apresentem as propostas mais vantajosas para o cumprimento dos objetivos para o respectivo projeto.

4.2.7.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Elaborar contratos de adjudicação.

Situação atual:

Com base na análise da Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados e do Caderno de Encargos são escolhidos os fornecedores e subempreiteiros que cumpram com os requisitos necessários ao desenvolvimento de um determinado projeto. Dos subcontratados que cumprem os requisitos, as suas propostas são registadas no documento Mapa Comparativo. As propostas selecionadas são as mais vantajosas para a empresa cumprir os prazos, custos e padrões de qualidade previstos no contrato de empreitada. Com as propostas escolhidas, são elaborados os Contratos de Adjudicação

Deficiências:

As minutas dos contratos de adjudicação são elaboradas pelo diretor de obra e validadas pelo diretor de produção, sendo o contrato de adjudicação transcrito para o formato de papel pelo escriturário. Esta situação apresenta deficiências quer na transcrição da minuta e/ou formatação.

Plano de ação:

N/A.

Objetivo do processo:

Elaborar Notas de Encomenda

Situação atual:

O responsável de compras analisa comparativamente a Lista de Fornecedores e Subempreiteiros aprovados, excluindo os fornecedores que não possuam os requisitos necessários para determinado projeto e registando no Mapa Comparativo os restantes. O diretor de produção com base no mapa escolhe as propostas mais vantajosas. Após análise e decisão das propostas mais vantajosas, remete para o escriturário todos os dados necessários à elaboração da respetiva Nota de Encomenda de materiais.

Deficiências:

N/A.

Plano de ação:

N/A.

4.2.8. Mapa A2 – Execução da empreitada

4.2.8.1 Modelação do processo

Com adjudicação dos contratos aos fornecedores e aos subempreiteiros é iniciado o sub-processo “Execução da empreitada”, representada na Figura 4.7. O objetivo do presente sub-processo é executar as empreitadas de acordo com os padrões de qualidade contratados, cumprindo os prazos e as metas económicas.

Por forma a garantir a qualidade da construção são controlados os seguintes parâmetros:

- Implementação do projeto de acordo com os planos de produção;
- Manter os custos dentro do orçamento;
- Prevenção de defeitos de qualidade;
- Prevenção de acidentes;
- Assegurar que as entregas de materiais estão de acordo com os termos dos contratos de adjudicação.

Durante o progresso da execução da empreitada, informação sobre a implementação dos planos de produção é produzida. Esta informação é fundamental para o decorrer do projeto, assim como para futuros projetos em que a empresa esteja envolvida.

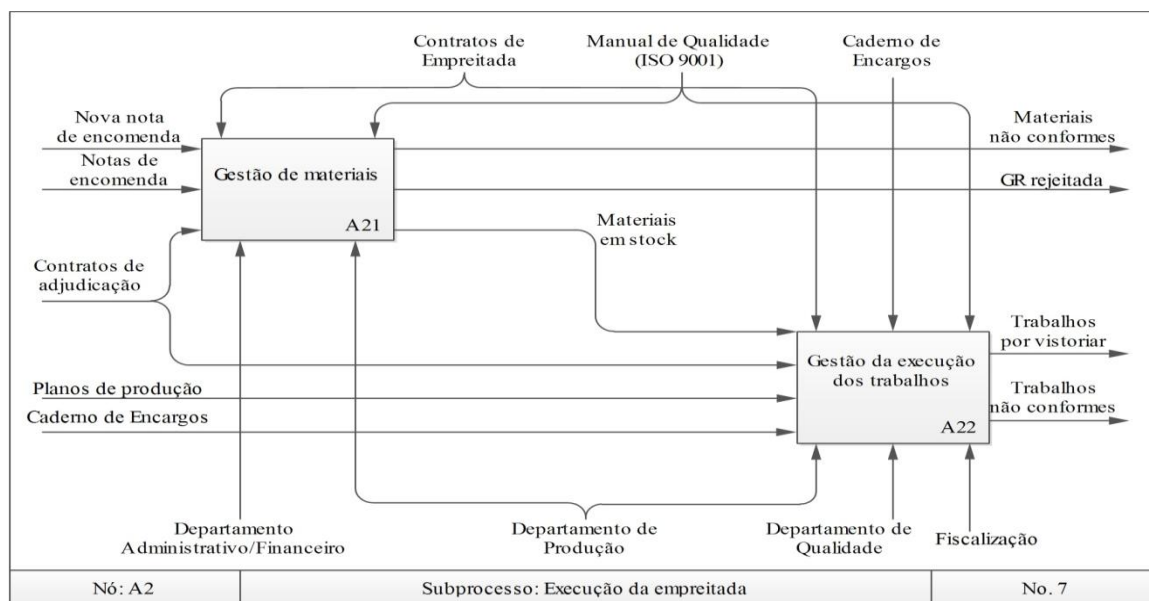


Figura 4.7 – Execução da empreitada

4.2.9. Mapa A21 – Gestão de materiais

4.2.9.1 Modelação do processo

A finalidade da atividade representada na Figura 4.8 é rececionar materiais de acordo com o descrito nas Notas de Encomenda e/ou nos Contratos de Adjudicação.

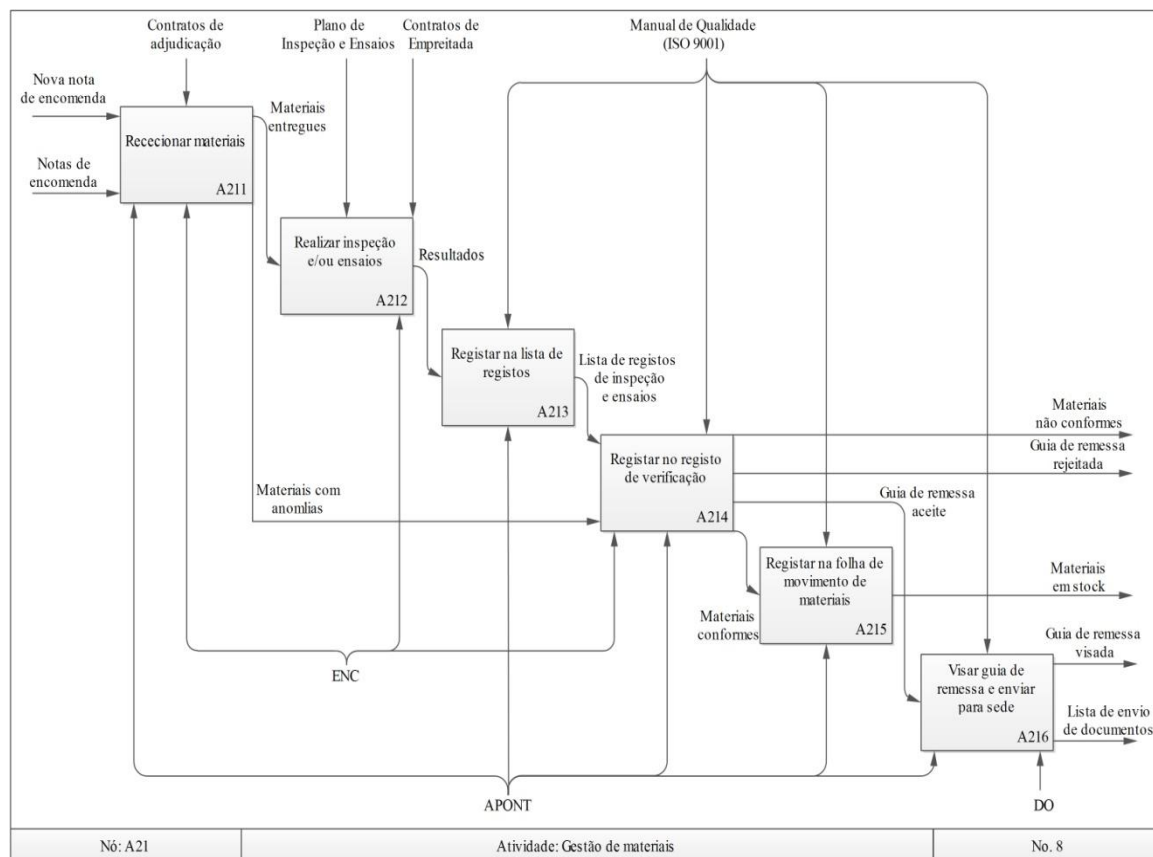


Figura 4.8 – Gestão de materiais

A gestão de materiais foca-se principalmente na inspeção dos materiais rececionados e no cumprimento dos requisitos estipulados nos contratos de adjudicação e nos documentos relevantes para a matéria. Quando os materiais são entregues em obra, a sua conformidade é verificada de imediato, sendo os materiais não conformes segregados. Além da conformidade dos materiais, as guias de remessa são verificadas por forma a averiguar se as quantidades e o conteúdo mencionado nas guias correspondem ao lote entregue em obra.

4.2.9.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Verificar conformidade dos materiais.

Situação atual:

Os materiais são rececionados em obra pelo encarregado e pelo apontador que verificam os materiais com as respetivas Notas de Encomenda e/ou contratos de adjudicação. Após a receção, baseando-se no Plano de Inspeção e Ensaios o encarregado realiza os testes apropriados a cada material. Em seguida, comunica os resultados ao apontador, que os regista na Lista de Registos de Inspeção e Ensaios. A lista é então facultada ao diretor de obra por forma a decidir a conformidade ou não dos materiais, registando a sua condição no Registo de Verificação. Os mate-

riais conformes são em seguida registados na Folha de Movimentos de Materiais e são dados como disponíveis para a execução da empreitada.

Deficiências:

Uma deficiência comum a todos os passos do presente processo relaciona-se com a introdução incorreta de dados nos vários documentos existentes. Os dados são inseridos manualmente em folhas de cálculo pelos diversos intervenientes, podendo surgir inexatidões por erro próprio ou por informação partilhada incorretamente. O preenchimento da lista de registos dos resultados das inspeções e ensaios está mais sujeito a erros por os dados serem recolhidos pelo encarregado e transmitidos ao apontador verbalmente, podendo esta informação ser transmitida ou interpretada de forma incorreta. Esta situação pode resultar que materiais não conformes constem na Folha de Movimentos de Materiais.

Plano de ação:

Atribuir responsabilidades a cada tarefa, ou seja, a conclusão de uma dada tarefa do presente processo é da responsabilidade de um único trabalhador. Em adição, desenvolver um sistema capaz de confirmar e validar automaticamente os resultados das inspeções e ensaios.

Objetivo do processo:

Validar guias de remessa.

Situação atual:

Com a verificação da conformidade dos materiais, as Guias de Remessa são validadas pelo diretor de obra que as entrega ao apontador para envio para a sede da empresa, por forma a serem anexadas às respetivas faturas. O apontador regista o envio de cada Guia de Remessa no Guia de Envio de Documentos.

Deficiências:

Verifica-se ocasionalmente o extravio de guias de remessa. O extravio deve-se normalmente a má comunicação entre direção de obra e apontadoria, por o diretor de obra requisitar uma guia de remessa que já foi registada pelo apontador para envio para sede, acabando a guia de remessa por permanecer em obra. Esta situação é exacerbada por arquivamento incorreto da guia de remessa, por parte do diretor de obra, provocando assim o extravio da guia de remessa.

Plano de ação:

Utilização de guias de remessa em formato informático e armazenadas em base de dados próprias. A sua visualização deverá depender de um acesso hierárquico restrito, onde as diferentes versões das guias de remessa só estão disponíveis a certos utilizadores.

4.2.10. Mapa A22 – Gestão da execução dos trabalhos

4.2.10.1 Modelação do processo

O propósito da atividade “Gestão da execução de trabalhos” (Figura 4.9) é garantir a execução dos trabalhos em concordância com o previsto no Caderno de Encargos e/ou Contrato de Empreitada.

Durante a presente atividade, é avaliado o estado do progresso da obra. Além de serem elaborados autos de medição para o controle de custos e prazos, os padrões de qualidade são monitorizados e registados. No caso de os padrões de qualidade não se encontrarem de acordo com o contratado, são desencadeadas de imediato medidas corretivas.

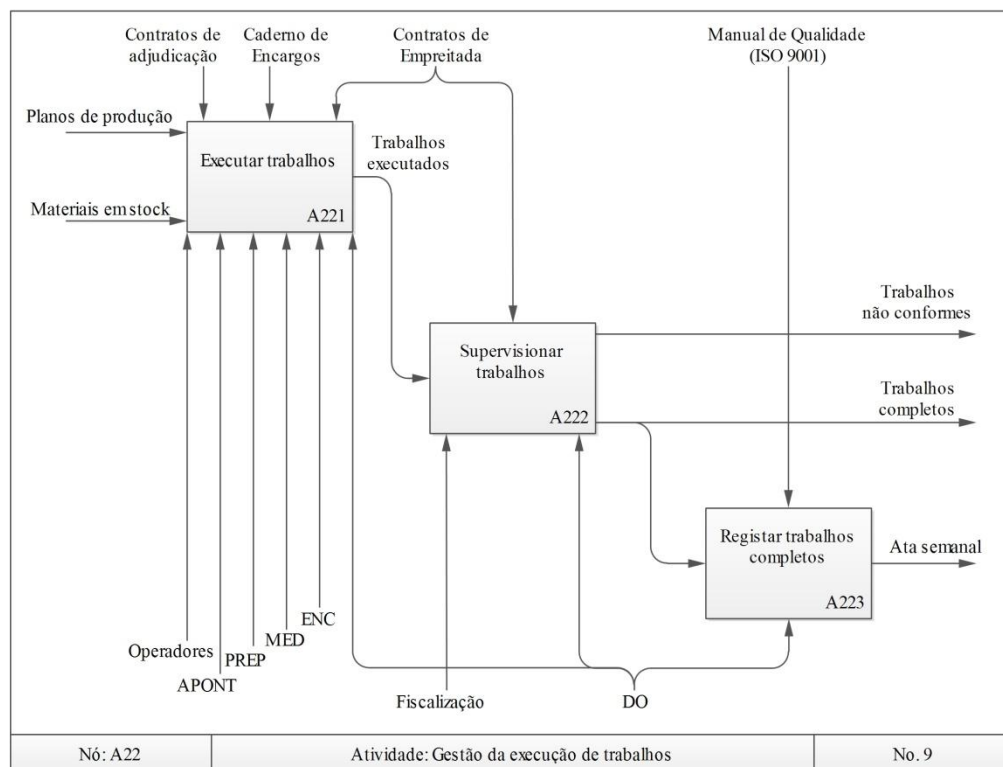


Figura 4.9 – Gestão da execução de trabalhos

4.2.10.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Detetar trabalhos não conformes.

Situação atual:

Qualquer colaborador tem a obrigação de reportar a ocorrência de um trabalho não conforme. Durante a fase de construção a direção de obra realiza vistorias periódicas com objetivo de averiguar a qualidade dos trabalhos. Assim que uma NC é detetada, são desencadeadas medidas para a sua eliminação. O diretor de obra é responsável por manter o cliente/fiscalização informado sobre qualquer ocorrência verificada durante o progresso da obra, através do documento Comunicação de Obra.

Deficiências:

Devido ao elevado tempo que o diretor de obra tem de despender forçosamente no escritório da obra (reuniões constantes, assinatura de documentos, controle de planeamento, etc.), pode negligenciar a supervisão do decorrer dos trabalhos. Por forma a tentar colmatar a sua indisponibilidade, o diretor de obra opta por supervisionar os padrões de qualidade ou através de informação transmitida verbalmente pelo encarregado ou através de fotografias do local de obra, podendo resultar na omissão de trabalhos não conformes. Esta omissão poderá resultar ou pela informação ser transmitida ou interpretada de forma incorreta, ou por não ser possível ter uma visão apropriada dos trabalhos através das fotografias. Em termos de comunicação com fiscalização/cliente, devido a ser feita através de um documento escrito, vulgarmente a informação contida no documento é interpretada incorretamente, podendo originar problemas na relação entre direção de obra e fiscalização.

Plano de ação:

Por forma a colmatar esta deficiência podem ser tomadas duas abordagens distintas. A primeira consiste em providenciar ao encarregado uma aplicação para supervisão automática da concordância dos trabalhos com o projeto, onde o sistema alerta para a ocorrência de uma NC. O encarregado poderá assim transmitir informação imune a erros e interpretações incorretas ao diretor de obra. A outra abordagem será disponibilizar ao diretor de obra uma aplicação portátil, capaz de gerir todas as suas tarefas sem este estar fisicamente presente no escritório de obra. Assim, o diretor de obra está liberto para acompanhar a execução dos trabalhos.

Objetivo do processo:

Registar progresso dos trabalhos.

Situação atual:

No caso de não serem detetadas anomalias durante a execução dos trabalhos, é feito um acompanhamento periódico dos trabalhos pelo encarregado e diretor de obra, e mantido um registo do seu progresso em Ata de Reunião.

Deficiências:

Devido à simplicidade do processo – simplesmente registar em ata o início e conclusão dos trabalhos – existe um défice de informação registada sobre a execução dos trabalhos, podendo em processos futuros levar a erros de interpretação.

Plano de ação:

Registo gráfico através de modelos 3D com informação sobre o progresso dos trabalhos.

4.2.11. Mapa A3 – Controle dos padrões de qualidade

4.2.11.1 Modelação do processo

Por forma a retificar trabalhos não conformes, materiais não conformes e verificar os padrões de qualidade dos trabalhos completos, procede-se ao subprocesso “Controlo dos padrões

de qualidade” (Figura 4.10). O propósito deste subprocesso é garantir os padrões de qualidade contratados.

Este subprocesso é responsável pela resolução de todas as NC ocorridas durante o projeto e pela verificação e/ou monitorização dos padrões de qualidade dos trabalhos executados. Por forma a garantir os padrões de qualidade, são realizadas inspeções e/ou ensaios caso sejam aplicáveis.

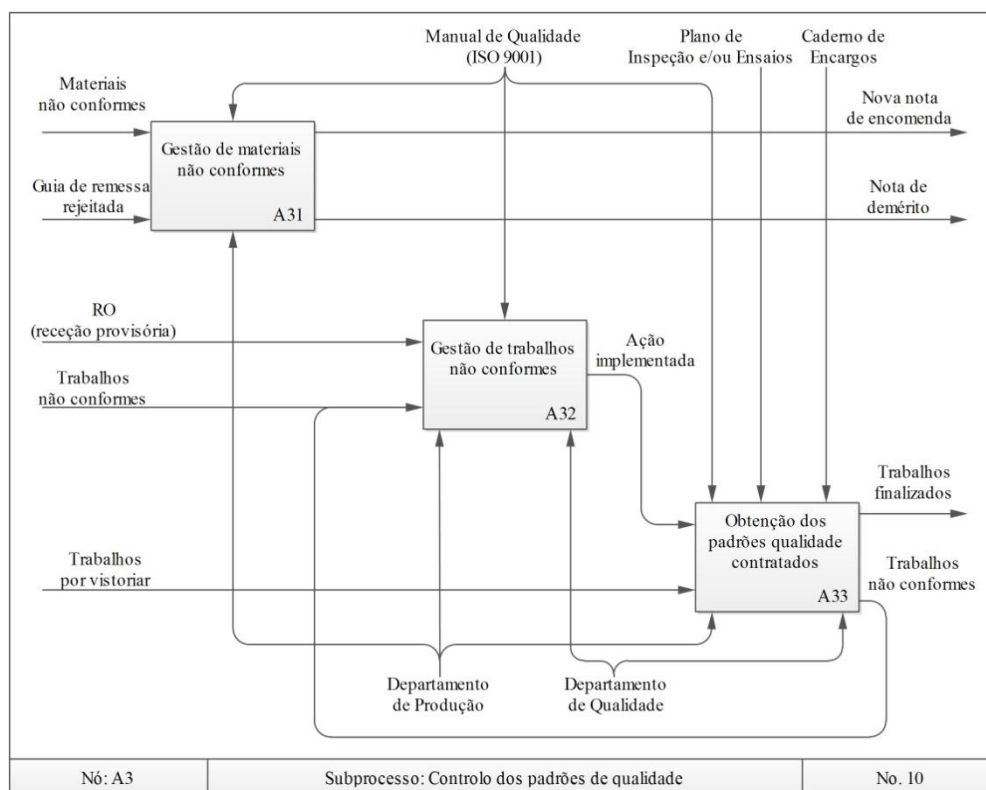


Figura 4.10 – Controle dos padrões de qualidade

4.2.12. Mapa A31 – Gestão de materiais não conformes

4.2.12.1 Modelação do processo

A atividade representada na Figura 4.11 tem como objetivo gerir materiais considerados não conformes e proceder à sua regularização através de novas Notas de Encomenda.

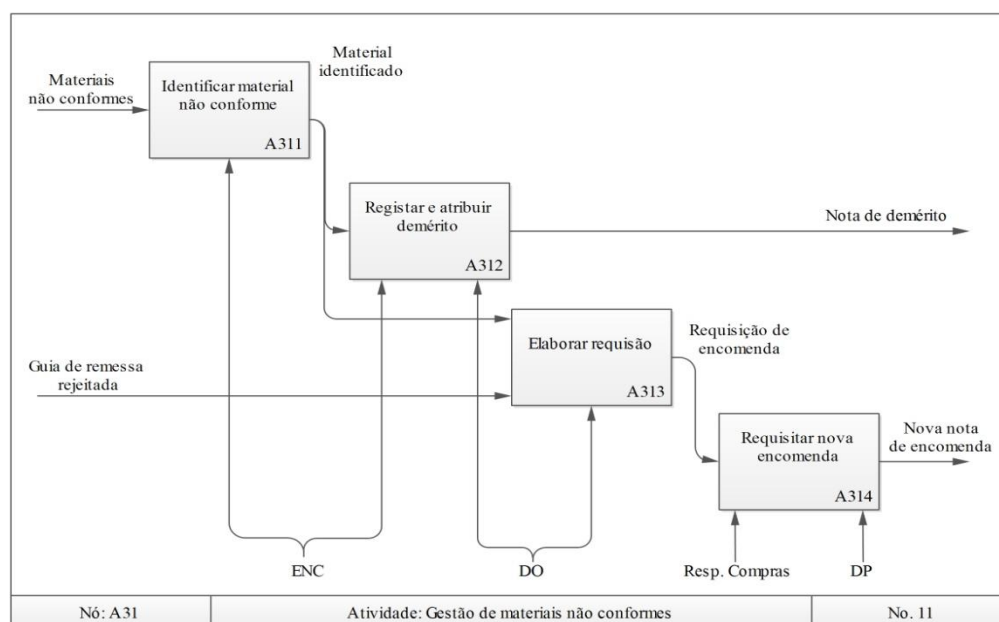


Figura 4.11 – Gestão de materiais não conformes

4.2.12.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Atribuir notas de demérito.

Situação atual:

Os materiais considerados não conformes, são identificados com uma Etiqueta Não Conforme com o propósito de segregar estes materiais. Assim que estes se encontrarem perfeitamente identificados, o fornecedor responsável pela entrega de materiais não conformes é notificado e uma nota de demérito elaborada pelo diretor de obra.

Deficiências:

A elaboração das notas de demérito é habitualmente ignorada pelo diretor de obra por o processo ser considerado como não relevante quando comparado com as suas restantes tarefas. A falta de notas de demérito impossibilita ao diretor de produção uma atualização verossímil do CFS. Além do mais, a falta de avaliações consistentes e fidedignas pode levar a deterioração das relações entre direção de obra e empresas subcontratadas.

Plano de ação:

Desenvolver um sistema capaz de atribuir automaticamente notas de demérito com base na responsabilidade e gravidade de uma NC, disponibilizando às empresas subcontratadas justificações claras para a atribuição das notas de demérito.

Objetivo do processo:

Elaborar novas Notas de Encomenda.

Situação atual:

Assim que um material é identificado como não conforme, o diretor de obra requisita à sede nova Nota de Encomenda através do documento Requisição de Encomendas. O responsável

de compras elabora então nova Nota de Encomenda e submete ao diretor de produção para aprovação.

Deficiências:

A entrega de materiais encomendados poderá sofrer atrasos desnecessários, visto o diretor de obra necessitar de elaborar e enviar uma requisição de encomenda para a sede, em vez de contactar diretamente o fornecedor. Esta burocracia atrasa o tempo de entrega de novas encomendas.

Plano de ação:

Desenvolver canais de comunicação entre obra e sede capazes de aproximar as partes. Isto poderá ser alcançado através de um sistema que incluía notas de encomenda e guias de remessa digitais.

4.2.13. Mapa A32 – Gestão de trabalhos não conformes

4.2.13.1 Modelação do processo

O propósito da atividade “Gestão de trabalhos não conformes” (Figura 4.12) é identificar, registar e tratar ocorrências. É também responsável por assegurar as diretrizes da norma ISO 9001 no que respeita à GNC.

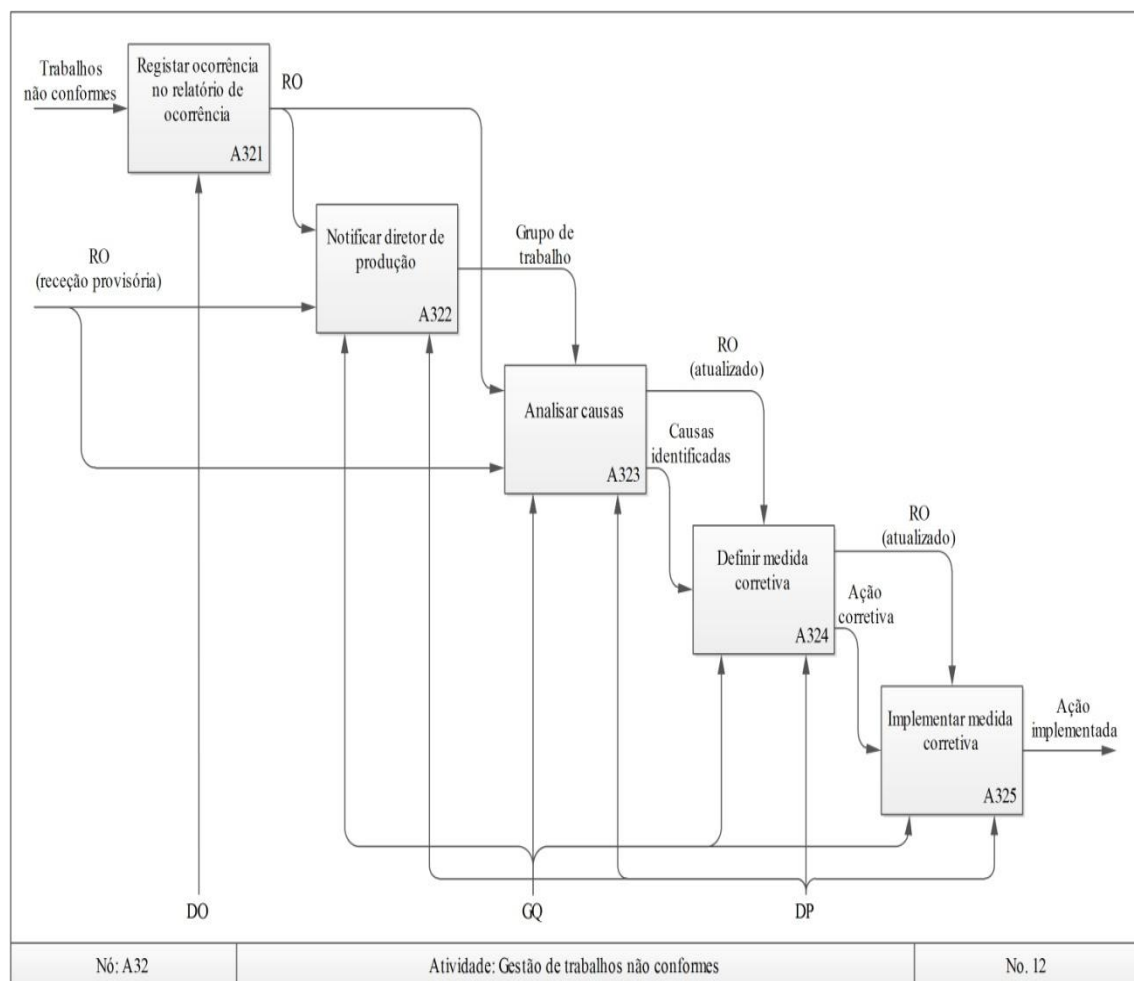


Figura 4.12 – Gestão de trabalhos não conformes

4.2.13.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Implementar uma medida corretiva capaz de eliminar as causas da respectiva NC.

Situação atual:

A NC é tratada no relatório de ocorrência pelo diretor de obra. A NC é comunicada ao diretor de produção, através do envio do relatório de ocorrência original. O diretor de produção solicita o envolvimento do gestor de qualidade e em conjunto elegem um grupo de trabalho para analisar as causas da NC. O registo da análise das causas é efetuado no relatório de ocorrência. O diretor de produção e/ou gestor de qualidade definem uma ação de correção, que visa eliminar os efeitos da NC, sendo registada no relatório de ocorrência. A ação corretiva é implementada, de acordo com indicações do diretor de produção e/ou do gestor de qualidade e pode envolver qualquer colaborador da empresa, bem como outros meios existentes ou que sejam necessários adquirir.

Deficiências:

Um erro comum na elaboração dos relatórios de ocorrência relaciona-se com o incorreto registo do local onde ocorreu a não ocorrência. Este erro aumenta a já elevada quantidade de trabalhos corretivos executados, visto poder realizar-se uma intervenção corretiva num elemento conforme, o que obviamente resulta em trabalhos corretivos extra e desnecessários.

Outra deficiência do presente processo é a burocracia que o envolve. Esta burocracia prejudica o processo desde o início, visto o diretor de obra ser responsável pela abertura do relatório de ocorrência, o diretor de produção responsável pela escolha de um grupo de trabalho para análise de causas e escolha das medidas corretivas e o gestor de qualidade responsável por toda a gestão do processo. Este envolvimento de vários intervenientes (habitualmente separados geograficamente) no decorrer do processo, resulta em dificuldades de comunicação e partilha de informação entre as partes, na incorreta interpretação do conteúdo dos relatórios de ocorrência, e em medidas corretivas ineficazes e não disponibilizadas em tempo oportuno.

A morosidade para o desenvolvimento de todo o processo foi outra das deficiências identificadas. Esta morosidade traz consequências no prazo de execução dos trabalhos e na qualidade dos mesmos.

Devido à complexidade e ineficácia do atual processo, a direção de obra evita regularmente o registo de NC, com a justificação de não agravar os prazos de execução e os custos da obra. A ausência de registos de ocorrência implica o incumprimento das diretrizes da norma ISO 9001, dando origem à perda da certificação de qualidade. Além do mais, a ausência de um registo de NC e medidas corretivas poderá levar a que estas não sejam eliminadas ou implementadas, respetivamente.

Plano de ação:

Criar novos canais comunicativos que permitam a aproximação dos diferentes intervenientes, mesmo que separados geograficamente. Associar elementos não conformes a modelos virtuais 3D com coordenadas geográficas. Alterar o formato do relatório de ocorrência para digital.

4.2.14. Mapa A33 – Obtenção dos padrões de qualidade contratados**4.2.14.1 Modelação do processo**

O intuito da atividade “Obtenção dos padrões de qualidade contratados” (Figura 4.13) é avaliar a obtenção dos padrões de qualidade dos trabalhos completos e das ações corretivas entre tanto implementadas.

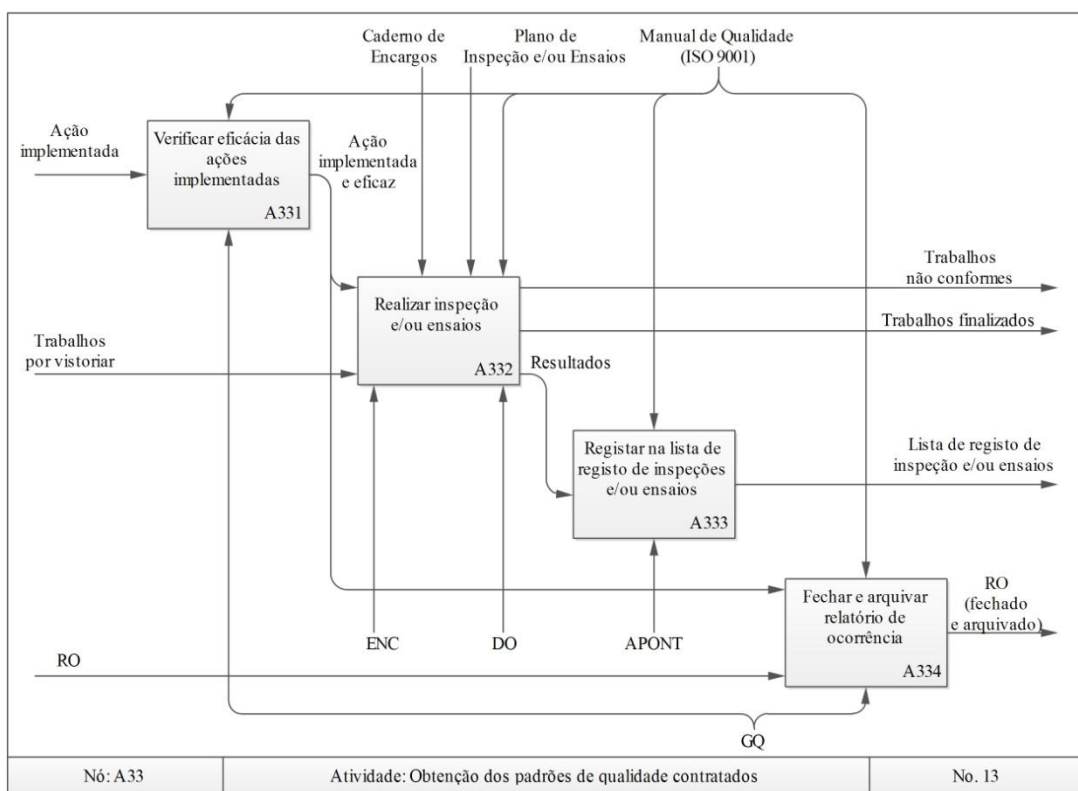


Figura 4.13 – Obtenção dos padrões de qualidade contratados

4.2.14.2 Análise do processo**Objetivo do processo:**

Garantir que uma ação corretiva foi eficaz em eliminar a NC associada.

Situação atual:

Na data de fecho da ação corretiva o gestor de qualidade verifica se a ação implementada foi eficaz em eliminar as causas da NC. Esta verificação é feita com base no Plano de Inspeção e Ensaios caso se aplique. As suas conclusões são registadas no relatório de ocorrência, no campo reservado para o efeito. Caso a ação não tenha sido implementada e/ou eficaz, é desenvolvida

uma nova ação corretiva, fazendo referência nesta ao número do relatório de ocorrência que lhe deu origem.

Deficiências:

N/A.

Plano de ação:

N/A.

Objetivo do processo:

Garantir que os trabalhos executados cumprem os padrões de qualidade contratados.

Situação atual:

O responsável pela direção de obra controla e analisa a qualidade dos trabalhos através do Plano de Inspeção e Ensaio – baseado nas condições impostas pelo Caderno de Encargos - registrando os resultados no Registro de Inspeção e Ensaio. No caso de os trabalhos encontrarem-se em concordância com os padrões contratados, são registrados em Ata de Reunião e a sua conclusão comunicada à fiscalização através do documento Comunicação de Obra.

Deficiências:

Uma deficiência comum a todos os passos do presente processo relaciona-se com a introdução incorreta de dados nos vários documentos existentes. Os dados são inseridos manualmente em folhas de cálculo pelos diversos intervenientes, onde por erro próprio ou por informação partilhada incorretamente, ocorrem erros de *input* de dados. O preenchimento da lista de registos dos resultados das inspeções e ensaios está mais sujeito a erros por os dados serem recolhidos pelo encarregado e transmitidos ao apontador verbalmente, podendo esta informação ser transmitida ou interpretada de forma incorreta. Esta situação pode resultar na validação de trabalhos como conformes quando na realidade não se encontram em conformidade com os padrões de qualidade contratados, e vice-versa.

Plano de ação:

Atribuir responsabilidades a cada tarefa, ou seja, a conclusão de uma dada tarefa do presente processo é da responsabilidade de um único trabalhador. Em adição, desenvolver um sistema capaz de confirmar e validar automaticamente os resultados das inspeções e ensaios.

4.2.15. Mapa A4 – Receção provisória

4.2.15.1 Modelação do processo

O propósito do subprocesso representada na Figura 4.14 é entregar a obra nas condições e padrões previstos no Caderno de Encargos e/ou Contrato de Empreitada.

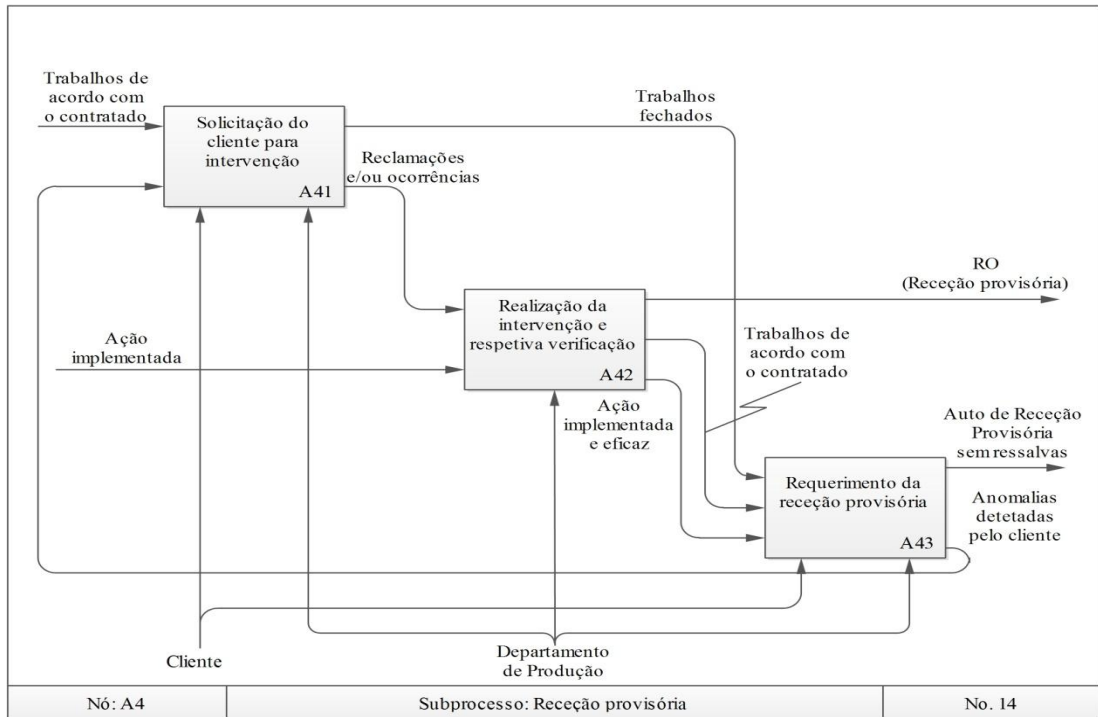


Figura 4.14 – Receção provisória

4.2.16. Mapa A41 – Solicitação do cliente para intervenção

4.2.16.1 Modelação do processo

A atividade “Solicitação do cliente para intervenção” (Figura 4.15) tem como objetivo a realização de uma vistoria conjunta entre cliente e empreiteiro, por forma a verificar a condição dos trabalhos executados.

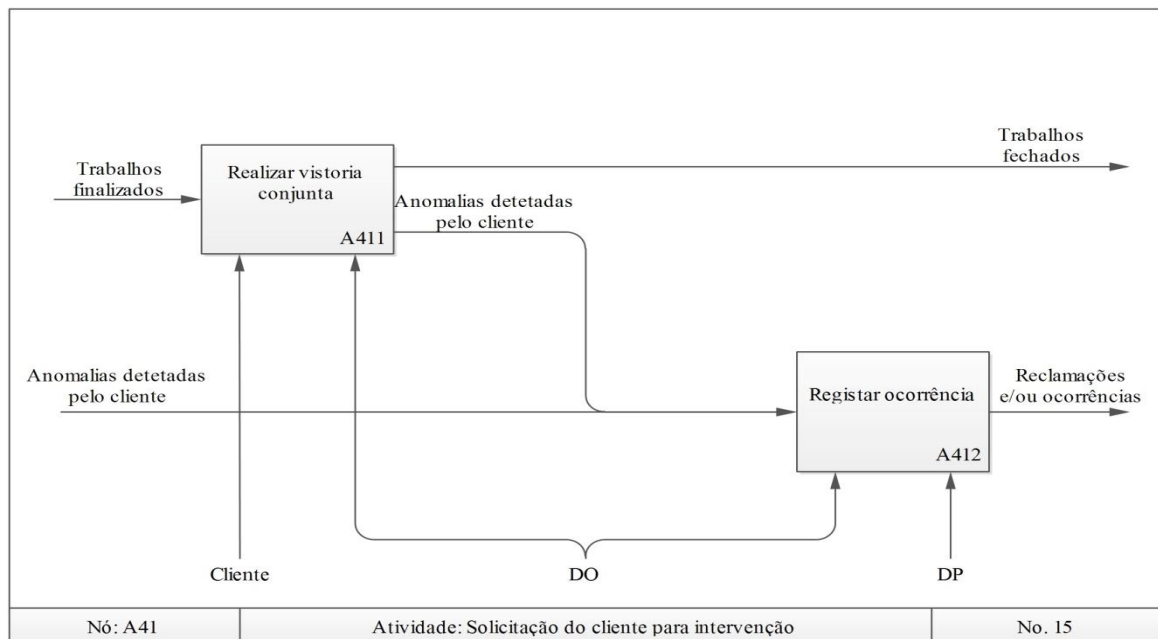


Figura 4.15 – Solicitação do cliente para intervenção

A atividade é iniciada com a solicitação da presença do cliente para vistoria conjunta. Durante a vistoria, todos os trabalhos que o cliente rejeitar, a direção de obra registra-os como ocorrências e/ou reclamações.

4.2.16.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Averiguar a satisfação do cliente em relação aos padrões de qualidade dos trabalhos executados.

Situação atual:

A atividade é iniciada com a solicitação da presença do cliente para vistoria conjunta. Durante a vistoria, todos os trabalhos que o cliente rejeitar, a direção de obra registra-os como ocorrências e/ou reclamações.

Deficiências:

Incompatibilização de datas entre direção de obra e cliente para realizar vistoria. Neste caso, a fiscalização procede à vistoria em representação do cliente. Ocasionalmente existem atritos entre estas partes devido a problemas ocorridos durante o projeto. Isto resulta em divergências em relativas aos padrões de qualidade da execução da empreitada.

Plano de ação:

Desenvolver vistorias virtuais preliminares, onde o cliente pode estar presente independentemente da sua localização.

4.2.17. Mapa A42 – Realização da intervenção e respetiva verificação

4.2.17.1 Modelação do processo

O propósito da atividade representada na Figura 4.16 relaciona-se com a necessidade de implementar medidas corretivas capazes de eliminar as anomalias detetadas anteriormente pelo cliente.

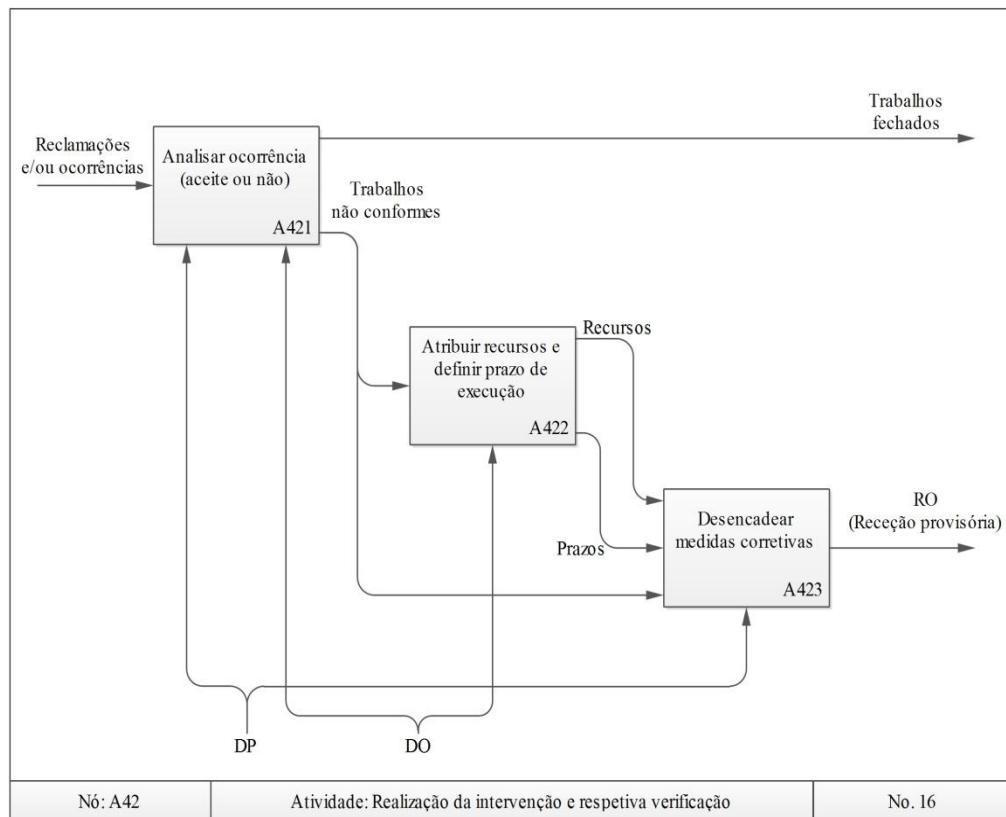


Figura 4.16 – Realização da intervenção e respetiva verificação

4.2.17.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Resolver as reclamações do cliente.

Situação atual:

Previamente ao desencadeamento do processo da resolução das ocorrências e/ou reclamações relacionadas com anomalias detetadas pelo cliente, a direção de obra analisa-as de modo a verificar a responsabilidade das mesmas. Caso as anomalias sejam consideradas da responsabilidade do empreiteiro, estas são registadas em relatório de ocorrência e tomam-se as medidas necessárias à sua eliminação. Este procedimento segue os mesmos passos da atividade representada na Figura 4.12. Assim que a ação corretiva for implementada são realizados testes e/ou medições indicados no manual de qualidade e/ou exigidos pelo Caderno de Encargos, por forma a verificar a sua eficácia na eliminação da anomalia detetada pelo cliente.

Deficiências:

Esta atividade apresenta as mesmas deficiências que a atividade “Gestão de trabalhos não conformes”

Plano de ação:

Idem

4.2.18. Mapa A43 – Requerimento do Auto de Receção Provisória

4.2.18.1 Modelação do processo

A finalidade da atividade representada na Figura 4.17 é o consenso entre empreiteiro e cliente sobre os padrões de qualidade dos trabalhos executados, culminando com a elaboração de um auto de receção provisória sem ressalvas.

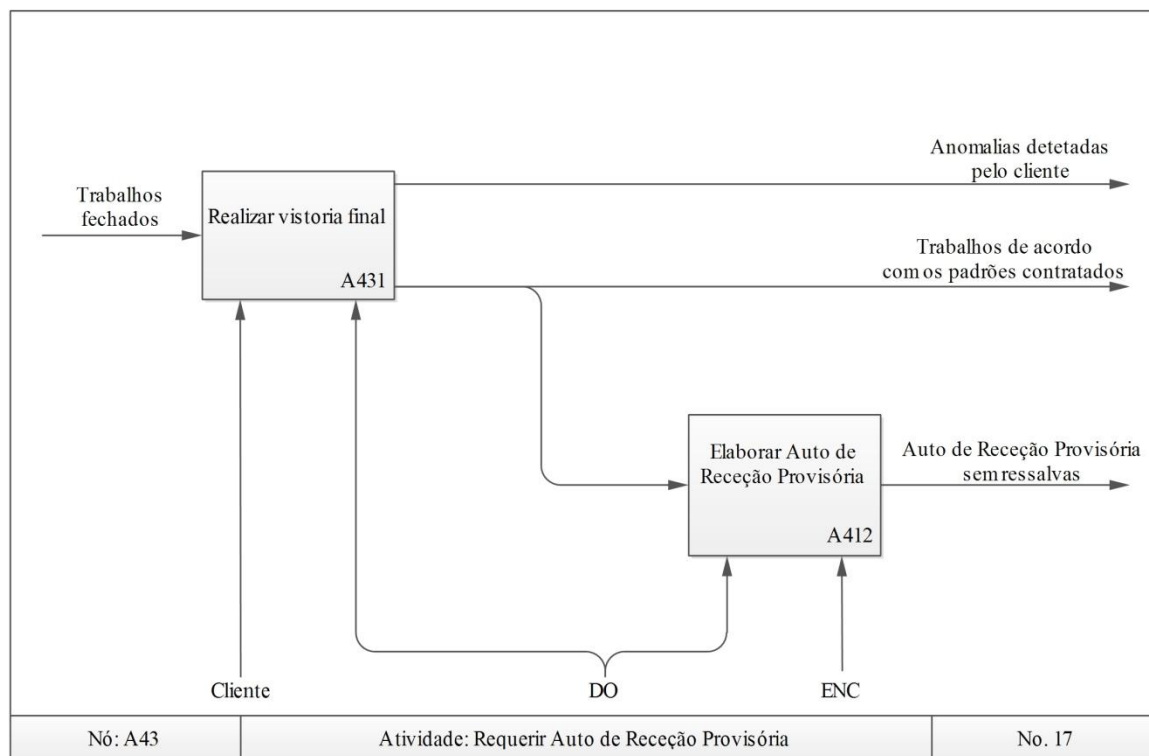


Figura 4.17 – Requerimento do auto de receção provisória

4.2.18.2 Análise do processo

Objetivo do processo:

Elaborar o Auto de Receção Provisória sem ressalvas.

Situação atual:

Após todas as ocorrências e/ou reclamações aceites serem resolvidas, é realizada uma vistoria final, em que participam direção de obra e cliente. Se o cliente considerar que as anomalias anteriormente detetadas persistem, são repetidas as atividades representadas na Figura 4.12 e Figura 4.13. Caso contrário, é considerado que todos os trabalhos encontram-se de acordo com os padrões de qualidade contratados, sendo fechados e registados em Ata de Reunião. Assim, a obra encontra-se concluída para efeitos de entrega provisória, sendo elaborado um Auto de Receção Provisória sem ressalvas.

Deficiências:

N/A.

Plano de ação:

N/A.

4.2.19. Análise global do processo de GNC

Durante a análise do caso de estudo, ficou bem presente que o processo de GNC apresenta graves deficiências ao nível da gestão da informação produzida durante o processo. Aliás, todas as deficiências apontadas pelos entrevistados relacionavam-se com essa má gestão. Constatou-se, que existiam deficiências desde a recolha de dados na obra, no processamento desses dados, na transmissão da informação retirada dos dados e na transmissão de informação dos responsáveis para os trabalhadores em obra. Todas estas deficiências trazem graves repercussões ao desenvolvimento dos projetos de construção. Entre elas, a informação registada ou transmitida incorretamente é a que causa maiores impactos negativos. Um exemplo retirado do caso de estudo relacionou-se com a resolução de um tubo de queda defeituoso. No relatório de ocorrência foi registado incorretamente a localização do tubo de queda defeituoso, o que levou à execução de trabalhos corretivos sobre um tubo de queda que se encontrava de acordo com as especificações do projeto. Obviamente, além de levar à duplicação de trabalhos corretivos (a execução de um trabalho corretivo é já considerado como uma atividade sem valor) e consequente imputação de custos desnecessário e atrasos nos prazos, é impossível responsabilizar um indivíduo devido ao modo de registos de dados do atual processo da GNC.

Outra questão levantada ao longo do processo relacionou-se com a burocracia envolvida. Esta deve-se à rigidez dos processos previstos no manual de qualidade, tornando-os pouco exequíveis quando implementados na realidade de obra. A elaboração de quantidades excessivas de documentos em papel, exigidos pelo manual de qualidade, também contribui para a elevada burocracia do processo.

A burocracia do atual processo acarreta graves consequências para o desenvolvimento dos projetos de construção. Além disso, existe um descrédito generalizado no que respeita aos benefícios da implementação de SGQ. Os intervenientes do processo consideram que a elevada quantidade de trabalho administrativo exigido, impede-os de executar outras tarefas consideradas por si mais importantes. Isto leva a que os trabalhadores negligenciem tarefas fundamentais para a garantia da qualidade dos trabalhos. O exemplo mais gravoso é a não resolução de algumas NC detetadas ao longo dos projetos. Os intervenientes, pressionados pelos prazos de conclusão dos projetos, consideram mais proveitoso resolverem algumas NC no final dos projetos, podendo acarretar custos desnecessários (uma NC resolvida atempadamente pode evitar a ocorrência de outras) durante o período de garantia dos projetos de construção. A decisão de ignorar a resolução de algumas NC é justificada pela morosidade da resolução de algumas ocorrências, considerada incomportável para o cumprimento dos prazos da obra. Os intervenientes atribuem esta morosidade à burocracia envolvida na resolução de NC.

Pelo referido, pode concluir-se que a deficiente gestão de informação aliada à burocracia do processo, afeta gravemente o desenvolvimento eficaz dos projetos de construção. Em suma, a

implementação ineficaz de um SGQ pode agravar a já fraca produtividade das empresas de construção.

4.2.20. Validação dos mapas IDEF0

A validação dos mapas do presente estudo foi efetuada por dois administradores da empresa referente ao caso de estudo. Ambos os administradores possuem licenciatura na área da engenharia civil, vasta experiência na gestão de produção de obra – mais de trinta anos envolvidos no setor – e foram responsáveis pela aprovação do manual de qualidade da empresa. Além do mais, ambos os administradores têm uma participação ativa na gestão de produção da empresa. Esta participação confere-lhes uma visão panorâmica e um profundo conhecimento de todo o processo de produção da empresa. Com base nestas características, os dois administradores eram os indivíduos mais indicados para proceder à validação dos mapas. De referir que os mapas ultrapassaram duas revisões antes de serem validados.

4.3. Adequação do caso de estudo

Após a análise do caso de estudo, pode afirmar-se que as deficiências e lacunas identificadas no SGQ escolhido para o caso de estudo são representativas das deficiências e lacunas da generalidade dos SGQ implementados nas empresas de construção. Esta afirmação é possível pelo facto de as deficiências e lacunas identificadas na revisão do caso de estudo corresponderem às encontradas durante a revisão da literatura realizada no capítulo 2. Assim, no decorrer do documento, o SGQ analisado será denominado por SGQ tradicional.

4.4. Identificação dos requisitos funcionais da plataforma

A plataforma comunicativa desenvolvida no presente estudo tem como principal objetivo aumentar a eficácia da comunicação e partilha de informação entre os diversos departamentos de uma empresa de construção. Os mapas IDEF0 formaram uma boa base para a definição dos requisitos funcionais da plataforma comunicativa. Através de uma análise profunda dos mapas IDEF0 e da análise da informação recolhida das entrevistas, foi possível obter um conjunto de planos de ação capazes de eliminar as deficiências dos SGQ tradicionais durante o processo de GNC.

Analisando todos os planos de ação, foi possível definir dois conjuntos distintos de requisitos funcionais: partilha de dados e/ou informação e recolha ou acesso a informação e/ou dados.

Em cada conjunto, foram identificados requisitos capazes de preencher as necessidades do processo atual. Por forma a responder às necessidades de partilha de dados/informação, a plataforma proposta tem de disponibilizar um fácil acesso a documentos padrão, dados uniformizados e não sujeitos a interpretações incorretas, e canais de comunicação interativos e eficientes. A Figura 4.18 ilustra as ferramentas da plataforma associadas a cada requisito funcional: modelos 3D precisos; um localizador de coordenadas; Templates e formatos de documentos padronizados;

armazenamento de dados/informação; um *cloud point* para partilha de informação; sistema de notificações automático; formatos *open class*.

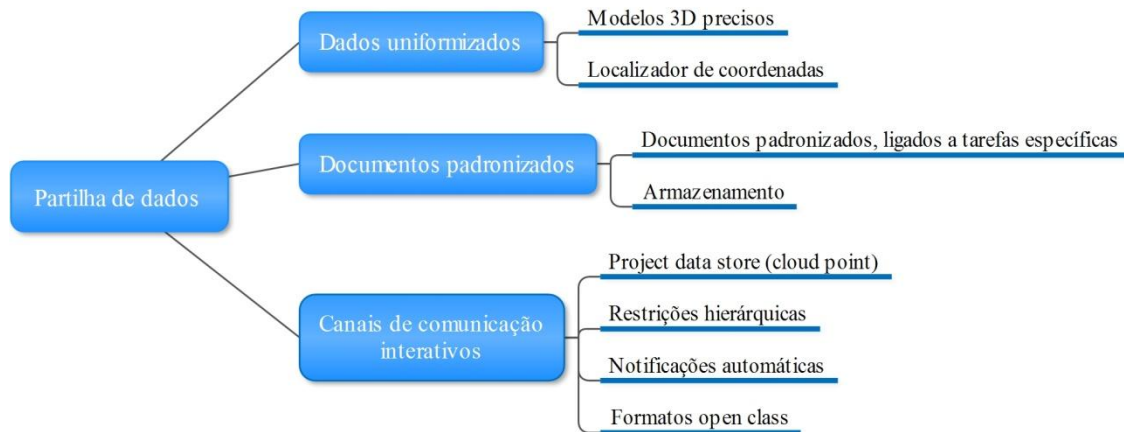


Figura 4.18 – Requisitos funcionais necessários a uma partilha de dados eficaz

Os requisitos funcionais para o conjunto representado na Figura 4.19 foram divididos em dois subconjuntos: recolha de dados no local de obra e recolha de dados fora de obra. Ambos os ambientes de trabalho partilham as mesmas necessidades relacionadas com a recolha de dados. Contudo, devido às diferenças de natureza física, cada ambiente de trabalho possui requisitos funcionais específicos.



Figura 4.19 – Requisitos funcionais necessários a uma recolha de dados eficaz

5. PLATAFORMA PROPOSTA

A plataforma proposta foi desenvolvida com o propósito de criar fluxos bidirecionais de informação entre o local de obra e os diferentes espaços de trabalho dos intervenientes dos projetos de construção. Neste contexto, a plataforma conceptual foca-se na visualização e modificação dos dados do projeto e partilha de informação durante um processo da gestão de produção, a GNC. Os processos de dimensionamento e cálculo não fazem parte do presente estudo. A plataforma foi desenvolvida por forma a proporcionar meios e ferramentas de análise e supervisão aos responsáveis pela gestão do projeto na fase de construção, independentemente do tamanho e tipologia do projeto. A plataforma é adequada a qualquer interveniente do processo de gestão de produção de uma empresa de construção.

Por forma a apresentar claramente toda a plataforma, a arquitetura do seu sistema será apresentada na secção seguinte, os seus processos modelados na secção 5.2 e o modo de funcionamento da plataforma, os seus canais comunicativos e o seu processo automatizado e cíclico para a GNC serão expostos na secção 5.3.

5.1. Arquitetura do sistema da plataforma

Em seguimento dos requisitos funcionais estabelecidos no capítulo anterior, e de modo a conceber uma plataforma capaz de melhorar a partilha de informação e proporcionar uma comunicação em tempo real no processo de GNC, o desenvolvimento da plataforma deverá focar-se na partilha de dados imune a incorretas interpretações e em ferramentas comunicativas e informativas - tanto para uso em obra como em escritório - capazes de recolher dados em tempo real.

A arquitetura do sistema da plataforma encontra-se representada na Figura 5.1. Por forma a partilhar informação precisa e imune a erros interpretativos, e criar meios comunicativos interativos, o funcionamento da plataforma assentará na manipulação de modelos virtuais – baseados num modelo BIM master – e no preenchimento de listas de dados associados aos modelos – listas comuns ao processo tradicional da GNC. Além disso, foram desenvolvidos módulos baseados nas funções e necessidades profissionais dos trabalhadores por forma a responder às especificidades de cada interveniente e a criar um acesso hierárquico à informação de projeto. Deste modo, dois módulos diferentes foram concebidos, o C-BIM *Supervisor* e o C-BIM *Manager*. Os módulos foram desenvolvidos tendo como objetivo a otimização do processo de GNC, através do fornecimento de ferramentas específicas para cada função e para cada espaço físico onde os diferentes intervenientes operam. Por forma a simplificar a utilização da plataforma, foram desenvolvidas interfaces inteligentes para cada módulo. Assim, o módulo C-BIM *Supervisor* inclui uma interface com a mesma denominação, e o módulo C-BIM *Manager* inclui as interfaces C-BIM *Manager (Obra)* e C-BIM *Manager (Sede)*.

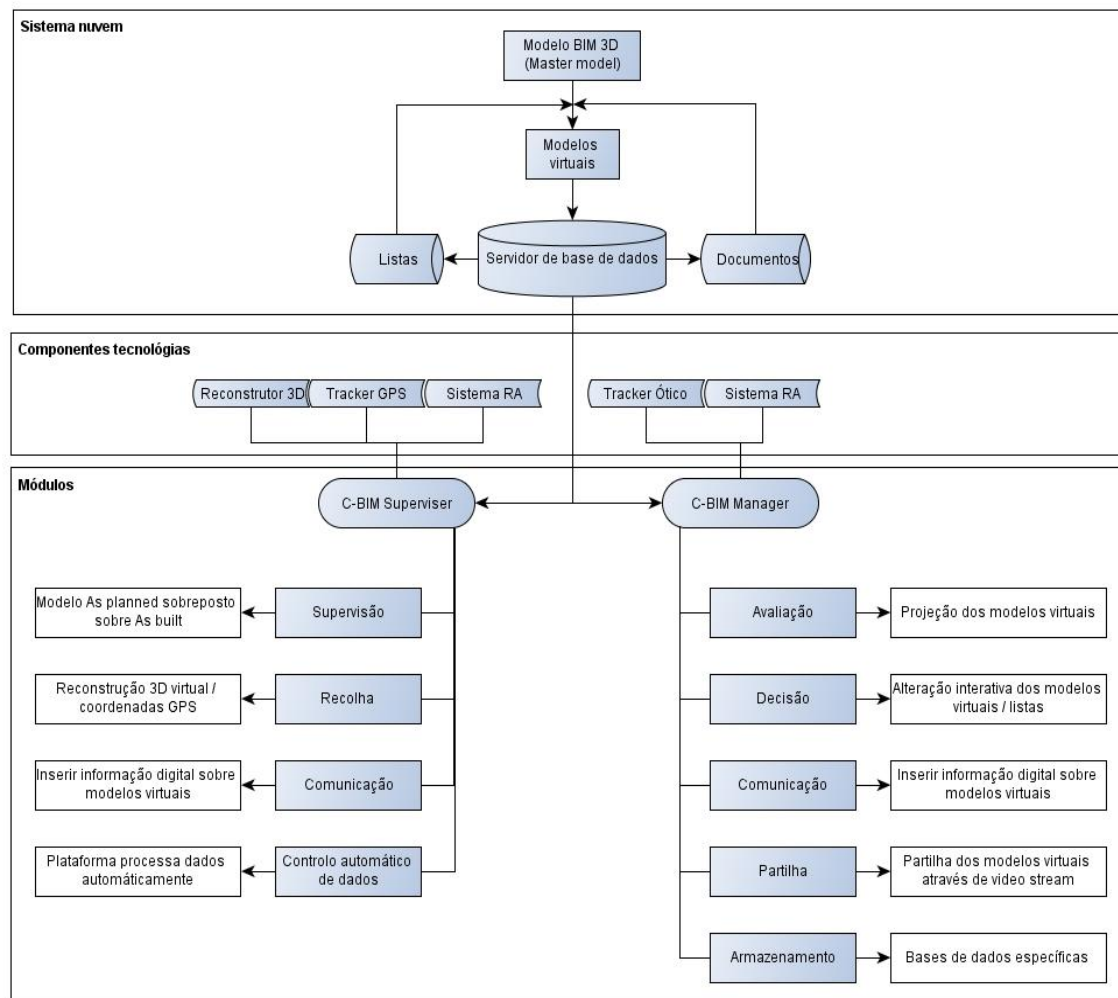


Figura 5.1 – Arquitetura do sistema da plataforma

5.1.1. Módulos e suas funções

Previamente à definição dos diferentes componentes incorporados na plataforma, desenvolveram-se os módulos e suas respetivas funções. Estes têm como objetivo eliminar as deficiências encontradas no processo de GNC incluído nos SGQ tradicionais.

5.1.1.1 Módulo C-BIM Supervisor

O módulo C-BIM *Supervisor* foi concebido exclusivamente para uso no local de obra. O utilizador acede à interface através da introdução da sua função na empresa e de uma *password* entretanto facultada. Por forma a responder às necessidades específicas do utilizador em obra, este módulo inclui funções para supervisão, recolha de dados, comunicação e controlo automático de dados.

A supervisão é realizada através da sobreposição de modelos virtuais 3D (importados do servidor das bases de dados, que serão descritas na subsecção 5.1.3) sobre a vista real do utilizador, através de uma aplicação de RA incorporada com um sistema de rastreamento GPS.

A tecnologia de reconstrução virtual 3D permite a recolha de dados fidedignos diretamente da obra, ao reconstruir virtualmente elementos construtivos, lotes de materiais e/ou equipamentos.

A aplicação de RA incorporada no módulo garante ainda a comunicação, em tempo real, com as partes responsáveis e tem a capacidade de anexar informação digital sobre os modelos e/ou sobre representações do estado real da obra. Assim, toda a informação enviada para fora de obra está menos sujeita a ser transmitida incorretamente.

Por fim, devido ao número restrito de listas e documentos disponibilizados, e ao controlo automático de dados, a plataforma evita erros humanos na introdução de dados. Na Figura 5.2 encontra-se representado um exemplo da interface C-BIM *Supervisor* a desempenhar a função de supervisão.



Figura 5.2 – Exemplo da interface C-BIM *Supervisor* a desempenhar a função de supervisão

5.1.1.2 Módulo C-BIM *Manager*

Ao contrário do módulo anterior, o desenvolvimento do C-BIM *Manager* foi projetado para uso exclusivo em espaços de escritório. Neste módulo, dependendo da função do utilizador, este acede ou à interface para gestão de obra ou à de gestão de sede. As duas interfaces diferenciam-se, não pelas suas funções, mas pelo nível de acesso à informação de projeto. Ao impor estas restrições, além de tornar o sistema informaticamente leve, permite-se uma responsabilização eficiente dos utilizadores da plataforma, uma organização eficiente de toda a documentação produzida durante o processo de GNC, e fundamentalmente, apenas se disponibiliza a informação estritamente necessária a um determinado colaborador desempenhar as suas funções eficiente-

mente (esta característica foi também incluída no módulo anterior). Devido às exigências profissionais dos utilizadores do presente módulo foi necessário dotá-lo de:

- Meios capazes de analisar e avaliar as ocorrências em obra para permitir aos utilizadores implementar medidas necessárias atempadamente;
- Ferramentas que permitam o processamento eficaz dos dados recolhidos em obra por forma a potenciar a tomada de decisões;
- Canais comunicativos interativos e eficazes capazes de aproximar os diferentes intervenientes (tanto internos como externos) mesmo que separados geograficamente;
- Meios eficazes de partilha de informação que permitam uma transmissão de dados, informação ou instruções atempadamente e imunes a incorretas interpretações, dos espaços de escritório dos responsáveis para os trabalhadores no local de obra;
- Meios de armazenamento que permitam arquivar informação de projetos anteriores, por forma a criar bases de dados de conhecimento que permitam um acesso fácil e atempado a informação para auxiliar futuras decisões.

Deste modo, o presente módulo apresenta como funções avaliação, decisão, comunicação, partilha e armazenamento. Na Figura 5.3 encontra-se representado um exemplo da interface C-BIM Manager a desempenhar a função de avaliação.

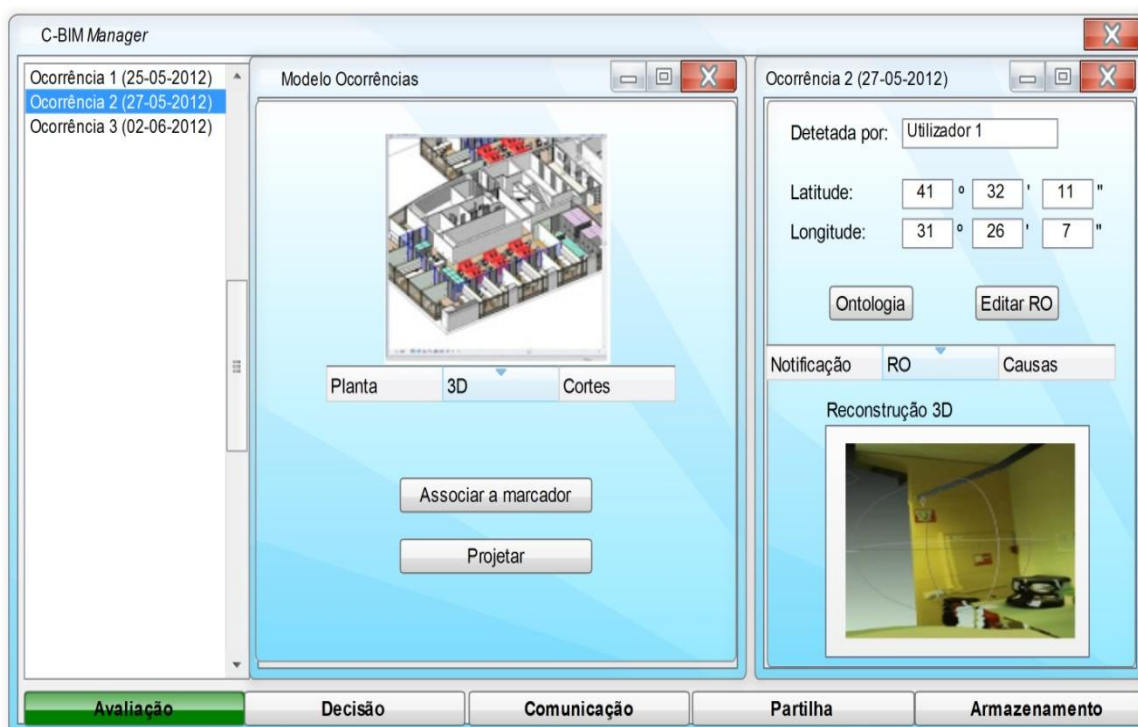


Figura 5.3 – Exemplo da interface C-BIM Manager a desempenhar a função avaliação

Todas estas funções, com exceção da função de armazenamento, são baseadas na projeção de modelos virtuais no espaço físico do utilizador. Por forma a permitir uma projeção adequada, é incorporada no módulo uma aplicação de RA com um sistema de rastreamento ótico. Ao associar os modelos virtuais a marcadores, o utilizador consegue projetá-los sobre qualquer superfície, independentemente da sua presente localização. Assim, através de uma visualização espacial e interativa, o utilizador possui uma melhor perceção dos elementos virtuais e dos dados recolhidos em obra.

Além do referido, ao possuir acesso à base de dados de documentos padronizados, o módulo facilita a elaboração de vários documentos utilizados no processo de GNC.

Relativamente à função de armazenamento do módulo, além de garantir as diretrizes da ISO 9001 respeitantes ao tempo de arquivo dos diferentes documentos, proporciona aos utilizadores uma base de dados *Ontológica* e de *Historial de projetos* passados. Deste modo, toda a informação associada à GNC é disponibilizada aos responsáveis, evitando recorrência de erros, falhas e soluções desadequadas.

5.1.2. Sistema nuvem – Partilha de dados e informação

A plataforma C-BIM-*thru*-AR utiliza o tipo de sistema de nuvem *SaaS*, descrito no capítulo 2. O sistema nuvem além de funcionar como motor do *software* da plataforma - responsável pela integração e geração dos modelos BIM, dos documentos e das listas – incorpora os diferentes modelos virtuais e suas listas associadas como aplicações *SaaS*, tornando-as disponíveis através da Internet aos utilizadores. Assim, os utilizadores podem facilmente aceder à informação contida na plataforma, independentemente dos dispositivos que utilizem ou da sua presente localização geográfica, só dependendo do seu nível de acesso à informação. A restrição ao acesso de informação é realizada pelo sistema nuvem através de um mecanismo de controlo de acesso, representado na Figura 5.4. O acesso às diferentes bases de dados incluídas na plataforma está dependente das funções e/ou nível de responsabilidade dos utilizadores. Por fim, o sistema também alberga a tecnologia responsável pela recolha de dados, partilha de informação, projeção de modelos virtuais e os canais comunicativos entre os diversos intervenientes. As interações entre o sistema nuvem e os dispositivos de projeção serão descritos na subsecção 5.1.4 e os canais comunicativos na secção 5.3.

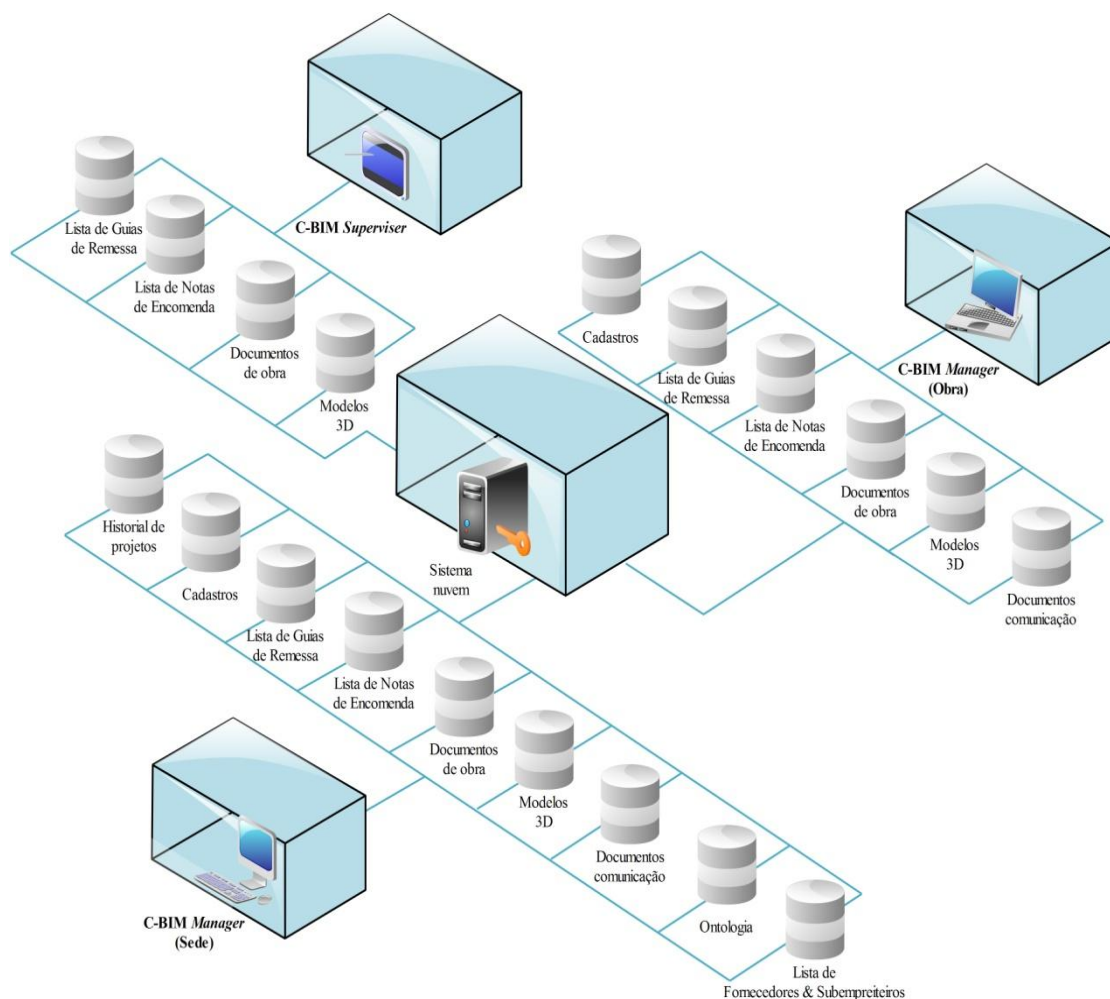


Figura 5.4 – Mecanismo de controlo de acesso às bases de dados

5.1.3. Bases de dados

A plataforma incorpora três tipos de bases de dados, diferenciadas pelos seus propósitos. O primeiro tem como objetivo exclusivo armazenar informação e dados (base de dados de armazenamento), seja na forma de modelos virtuais, documentos ou listas. O segundo é responsável pelo correto funcionamento da plataforma (base de dados de funcionamento) ao fornecer valores de referência ou informação pré-definida. Por fim, incluem-se bases de dados mistas, que funcionam tanto como bases de dados de armazenamento como de funcionamento.

5.1.3.1 Bases de dados de armazenamento

Por forma a facilitar a integração da plataforma nos atuais SGQ, foi decidido manter o formato e nomenclatura das listas e documentos utilizados em obra. Prevê-se que esta integração crie uma melhor aceitação da plataforma ao proporcionar aos futuros utilizadores componentes familiares integradas na plataforma.

Base de dados *Cadastros*

A base de dados *Cadastros* armazena as notas de demérito, relatórios de avaliação e cadastros de todos os subcontratados da empresa.

Base de dados *Lista de guias de remessa*

Esta base de dados é responsável pelo armazenamento de todas as guias de remessa produzidas no decorrer de uma obra. Por forma a manter as guias de remessa em arquivo, a cada novo projeto é associado uma base de dados de lista de guias de remessa, mantendo as guias de remessa de projetos concluídos durante um período de dois anos em arquivo.

Base de dados *Lista de notas de encomenda*

Com o início de cada novo projeto, é associado uma base de dados para a respetiva lista de notas de encomenda. Estas são mantidas em arquivo durante dois anos.

Base de dados *Comunicação de obra*

Esta base de dados inclui notificações e relatórios, utilizados para comunicar entre diferentes ambientes de trabalho. A comunicação entre obra e escritório de obra é feita através de notificação de NC (Figura 5.5). A comunicação entre obra e sede é realizada através de RO (Figura 5.6). Ambos os formatos são mantidos em arquivo até ao final do período de garantia de determinado projeto.



Figura 5.5 – Formato da notificação de ocorrência inserido na interface C-BIM *Supervisor*

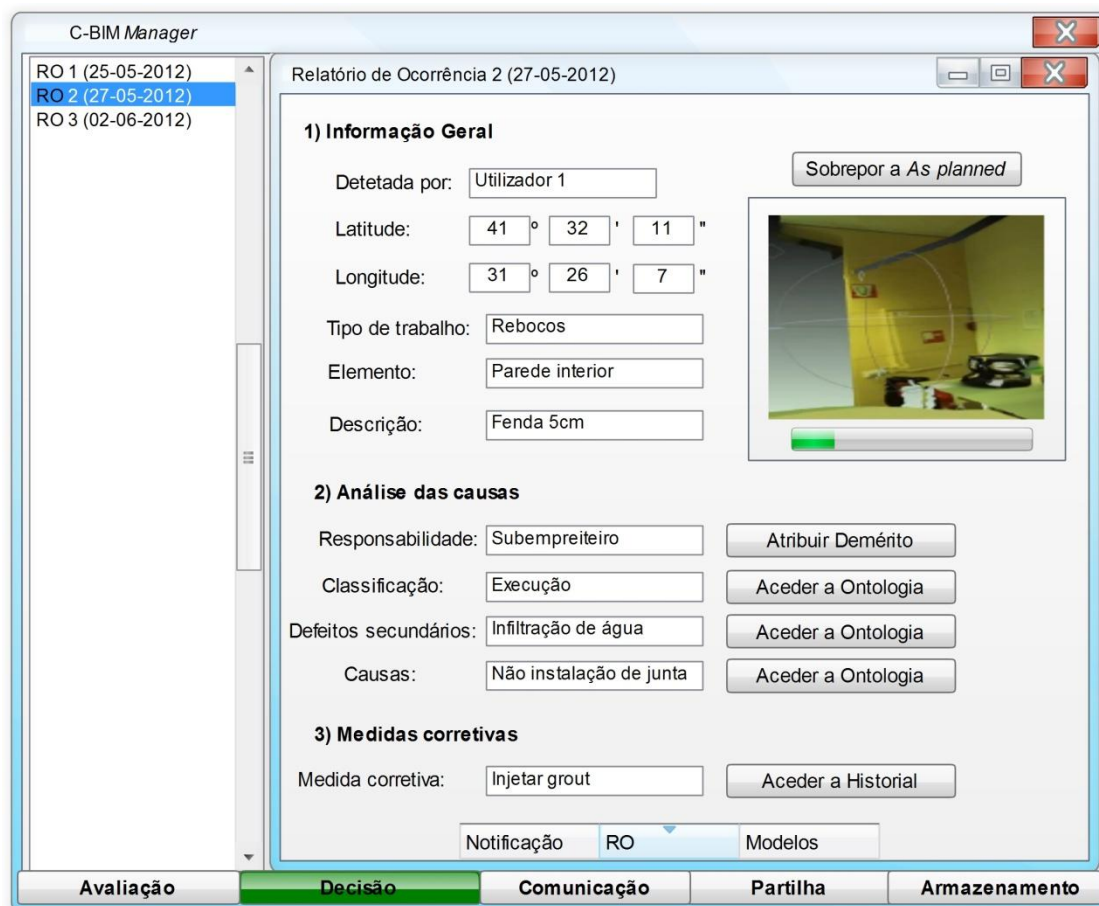


Figura 5.6 – Formato do relatório de ocorrência inserido na interface C-BIM Manager

Base de dados *Historial de projetos*

Nesta base de dados são armazenados, por projeto, toda a informação relacionada com a ocorrência de NC. A informação é arquivada sobre a forma de modelos virtuais com toda a informação sobre NC produzida durante determinado projeto anexada a estes. Os modelos são mantidos com o intuito de servir como base para futuras melhorias, ou para a necessidade de rever processos efetuados em projetos anteriores. Por exemplo, no caso da ocorrência de NC recorrentes, os responsáveis podem rever a presente base de dados por forma a averiguar que medidas e com que sucesso foram tomadas em projetos anteriores.

5.1.3.2 Bases de dados de funcionamento

Foi decidido incluir este tipo de bases de dados na plataforma para eliminar as ocorrências de erros humanos. Assim, a plataforma ao possuir uma base de controlo de valores, só aceita valores num determinado intervalo pré-definido. Ao limitar as escolhas dos utilizadores, a informação pré-definida focaliza e uniformiza a informação inserida.

Base de dados *Ontologia*

A base de dados ontologia fornece um conjunto de dados e informação pré-definida necessários para elaboração de notificações, relatórios de ocorrência, notas de demérito. Além

disso, armazena os diferentes planos de inspeção e ensaios. Deste modo é responsável por definir os intervalos de valores aceitáveis para os diferentes testes e ensaios incluídos nos planos. Assim, é possível controlar a conformidade ou não dos materiais e/ou trabalhos. Esta base de dados é formatada e organizada para cada projeto, dependendo dos testes e ensaios previstos em cada caderno de encargos de cada projeto.

5.1.3.3 Bases de dados mistas

Base de dados *Modelos virtuais*

A base de dados de Modelos virtuais armazena todos os modelos BIM previstos para o funcionamento da plataforma. Alguns dos modelos têm o propósito de controlar o funcionamento da plataforma. Na subsecção seguinte, os modelos serão descritos individualmente.

Base de dados *Documentos de obra*

Esta base de dados inclui lista de materiais não conformes, folha de movimentos de materiais, lista de registos de inspeções e ensaios e os planos de inspeção e ensaios. O registo dos materiais conformes e não conformes é mantido na folha de movimentos de materiais e lista de materiais não conformes, respetivamente. A lista de registo de inspeções e ensaios mantém um registo dos resultados das diferentes inspeções ou ensaios. O plano de inspeção e ensaios é descarregado da base de dados *Ontologia*, inserindo o nome do projeto em execução.

Base de dados *Lista de fornecedores e subempreiteiros*

Esta base de dados é responsável por manter uma lista atualizada dos fornecedores e subempreiteiros que reúnem as condições e critérios para desempenharem as funções requeridas pelo empreiteiro. Além do mais, é responsável por controlar a elaboração de contratos de adjudicação, só permitindo elaborá-los caso os subcontratados estejam incluídos na lista e com uma nota de avaliação apropriada para determinado projeto.

5.1.4. Integração dos modelos virtuais

Com as funções da plataforma definidas e com o sistema nuvem exposto, foram desenvolvidos os diversos modelos virtuais incorporados na plataforma. A decisão de incorporar diferentes modelos para diferentes funções foi tomada de modo a proporcionar uma melhor organização à informação gerada durante o processo de GNC, fornecendo aos trabalhadores somente a informação necessária para a realização das suas tarefas. Com esta restrição da informação, perspetiva-se que os trabalhadores desempenharão as suas tarefas mais eficazmente. Avaliando as funções desempenhadas pela plataforma considerou-se necessário a criação de oito modelos virtuais, todos baseados no modelo BIM master, que corresponde ao modelo *As planned*. Os modelos incluem: *Depósito*; *Segregação*; *Ocorrências*; *Reclamações*; *Correções*; *As built*; *Concluído*; *Finalizado*. Todos estes modelos são acompanhados de diferentes listas e documentos que são descritos na secção seguinte. Além disso, a visualização de um determinado modelo determina os

comandos disponíveis para a manipulação desse modelo. Estes comandos serão apresentados na secção 5.2 e 5.3.

5.1.4.1 Modelos *Depósito* e *Segregação*

Os presentes modelos foram desenvolvidos com o objetivo de facilitar a organização e gestão dos materiais entregues em obra. A Figura 5.7 apresenta um esboço do modelo *Depósitos* de materiais.



Figura 5.7 – Modelo *Depósito* inserido na interface *C-BIM Supervisor*

O utilizador, ao importar os objetos 3D virtuais – reconstruções dos lotes de materiais reais entregues em obra – para o modelo *Depósitos*, verifica qual o lote onde deverá ser armazenado determinado material. O sistema só permite que o material seja armazenado no lote pré-definido, ou em caso de incorreta organização do estaleiro real calcula o espaço necessário para o armazenamento do material, através da comparação do mapa de estaleiro com os objetos virtuais armazenados anteriormente. Esta função requer que o mapa de estaleiro seja previamente planeado e que seja criado um modelo virtual do estaleiro. Assim, os utilizadores possuem um modelo virtual onde a colocação dos lotes está previamente definida. Para localizar o lote, o utilizador desloca o objeto virtual sobre a imagem real do depósito até que a cor a envolver o objeto se transforme de vermelho para verde. A cor verde sinaliza um lote com as dimensões suficientes para albergar o material desejado. O modelo *Depósito* diferencia-se do modelo *Segregação* apenas pelos materiais com que lida, materiais conformes e não conformes, respetivamente.

5.1.4.2 Modelos *Ocorrências* e *Reclamações*

Tanto o modelo *Ocorrências* como o modelo *Reclamações* apresentam os trabalhos que não se encontram em conformidade com os padrões contratados. O modelo *Ocorrências* apresenta

as NC detetadas pelo empreiteiro, enquanto o modelo *Reclamações* apresenta trabalhos considerados não conformes pelo cliente. A razão para se diferenciar estes modelos vem da necessidade de o empreiteiro garantir a satisfação do cliente. Assim, quando os modelos apresentam NC do mesmo nível de gravidade, as reclamadas pelo cliente serão resolvidas primeiro.

Na Figura 5.8 pode observar-se um exemplo do modelo *Ocorrências*. O modelo utiliza uma coloração com três diferentes cores, para diferenciar o nível de gravidade das diferentes NC, onde o vermelho representa o nível “urgente”, o roxo “médio” e o azul “ligeiro”. As NC representadas nestes modelos estão pendentes de medidas corretivas. Assim que for decidida qual a medida corretiva indicada para determinada NC, o elemento não conforme é transferido para o modelo *Correções*.



Figura 5.8 – Modelo *Ocorrências* inserido na interface C-BIM Manager

5.1.4.3 Modelo *Correções*

Este modelo é semelhante ao modelo *Ocorrências*, com a diferença que apresenta medidas corretivas em vez de ocorrências. A coloração utilizada no modelo também difere do anterior, representando a prioridade de intervenção. A cor laranja representa as medidas corretivas que deverão ser implementadas em primeiro lugar, o amarelo representa os elementos que só serão intervencionados quando não existirem elementos sinalizados com a cor laranja e os elementos sinalizados com a cor castanha só deverão ser intervencionados quando os restantes elementos tiverem sido intervencionados. No caso de dois elementos não conformes estiverem sinalizados com o mesmo grau de qualidade, deverá ser intervencionado o que possuir a data mais antiga. Além disso, a prioridade de determinado elemento pode ser alterada em qualquer momento que se justifique. A Figura 5.9 ilustra o modelo *Correções* inserido na interface C-BIM Supervisor.



Figura 5.9 – Modelo Correções inserido na interface C-BIM Supervisor

5.1.4.4 Modelo As built

Na Figura 5.10 encontra-se ilustrado o Modelo *As built*. O seu propósito relaciona-se com a necessidade de manter um registo sobre os trabalhos que são completados.

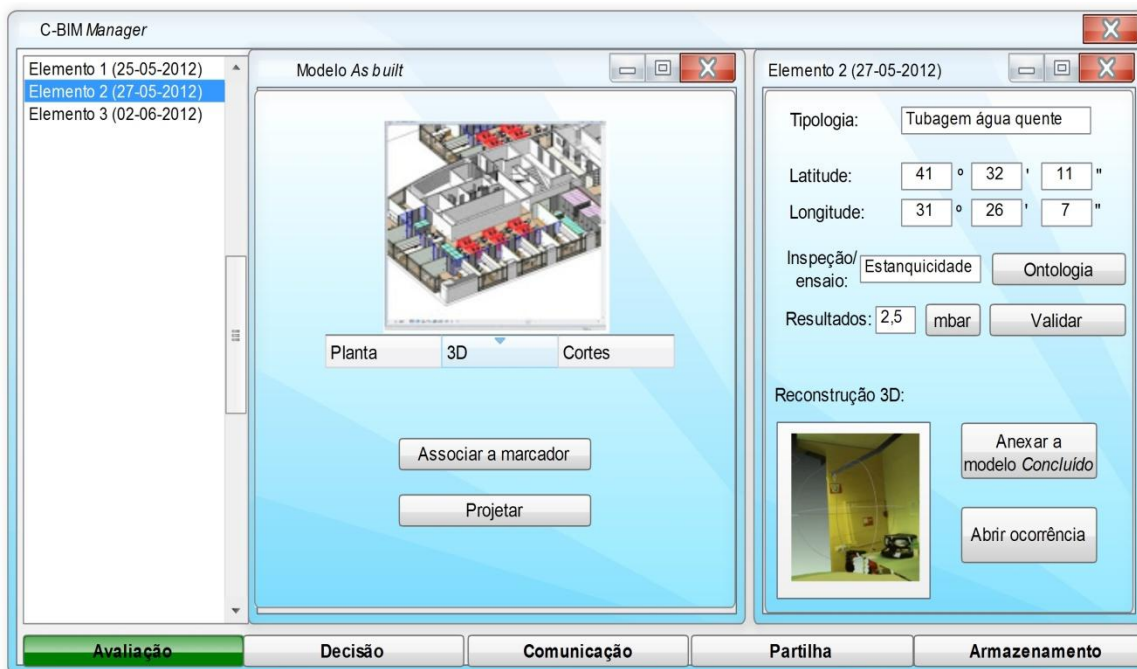


Figura 5.10 – Modelo *As built* inserido na interface C-BIM Manager

Assim, um elemento que se encontra completo é inserido no modelo *As built*. Os elementos aqui inseridos são considerados como não finalizados, pois caso se aplique, terão de ser sub-

metidos a testes e/ou ensaios para verificar a sua conformidade com os padrões contratados. Assim, o modelo inclui um aviso de coloração que visa sinalizar quais os elementos que necessitam de testes e/ou ensaios (cor vermelha). No caso do elemento construtivo não necessitar de testes e/ou ensaios e não apresentar qualquer tipo de anomalia, é inserido no modelo *Concluído*.

5.1.4.5 Modelo *Concluído*

A Figura 5.11 representa a imagem do modelo *Concluído*. Tendo como fundo o modelo *As planned*, o modelo *Concluído* tem como objetivo registrar quais os trabalhos que o empreiteiro considera finalizados, de acordo com os padrões de qualidade contratados, mas ainda sem aprovação do cliente. Os trabalhos considerados finalizados são representados através de uma coloração verde e com uma nota que inclui “Data fim” e “Para aprovação”. Este modelo é então compartilhado com o cliente, por forma aos trabalhos serem aprovados e possam ser transferidos para o modelo *Finalizado*. Quando os elementos aprovados são transferidos para o modelo *Finalizado*, a sua nota é alterada automaticamente para “Aprovado”.



Figura 5.11 – Modelo *Concluído* inserido na interface C-BIM Manager

5.1.4.6 Modelo *Finalizado*

A Figura 5.12 representa um exemplo do modelo *Finalizado*. Este modelo apresenta todos os elementos que se encontram de acordo com os padrões contratados e aprovados pelo cliente. Portanto, assim que todos os elementos construtivos previstos no projeto se encontrem inseridos no presente modelo, a elaboração do auto de recepção provisório é disponibilizada. Além do mais, com o projeto finalizado, o modelo é arquivado na base de dados *Historial de projetos*, permitindo aos utilizadores um simples e rápido acesso a medidas corretivas anteriormente utilizadas. Esta particularidade evita a recorrência de erros durante os futuros projetos da empresa.

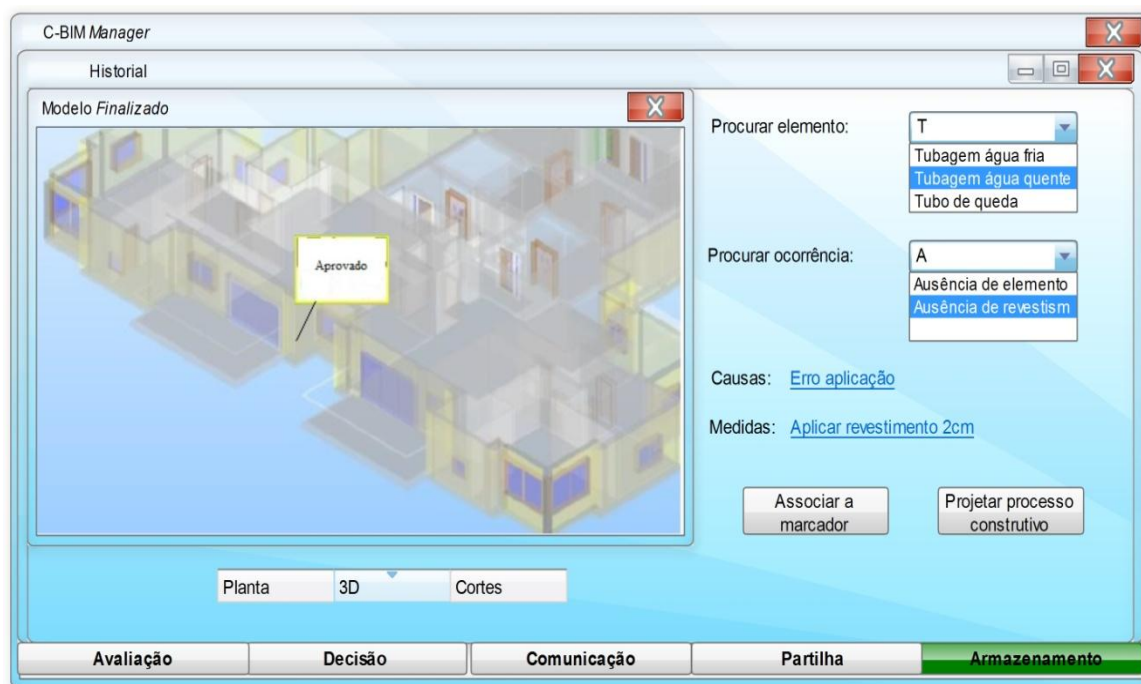


Figura 5.12 – Modelo *Finalizado* inserido na interface *C-BIM Manager*

5.1.5. Componentes tecnológicas

As componentes tecnológicas da plataforma foram desenvolvidas tendo em conta o ambiente onde a plataforma seria inserida. Deste modo as componentes tecnológicas do módulo *C-BIM Supervisor* – módulo para uso exclusivo em obra - teriam de permitir ao utilizador mobilidade acrescida, possibilitar uma recolha de dados precisa e fornecer toda a informação de projeto necessária para a supervisão do progresso da obra.

A Figura 5.13 ilustra todos os componentes tecnológicos do módulo *C-BIM Supervisor*. Por forma a fornecer a mobilidade necessária ao utilizador, a plataforma suporta a utilização de *tablets*, como os dispositivos de projeção do módulo *C-BIM Supervisor*. Como referido, a recolha de dados é feita através da reconstrução 3D dos elementos construtivos e/ou lotes de materiais, alcançada através de *laser scanners* e sensores visuais incorporados em uma câmara digital, que por sua vez se encontra anexada ao *tablet*. Para processar os dados, o sistema implementa algoritmos de processamento que permitem a fusão entre os dados 3D recolhidos pelo dispositivo *laser* – com os dados texturais recolhidos pela câmara digital (3SENSE lab, 2011). A supervisão realizada em obra baseia-se na sobreposição dos modelos virtuais sobre a vista real do utilizador. Por forma a sobrepor os modelos virtuais sobre o modelo real com uma precisão suficiente, o *tablet* incorpora um sistema de rastreamento baseado em sensores (GPS) – calcula a posição do utilizador – além de uma bússola eletrónica que rastreia a orientação do utilizador. A visualização aumentada dos modelos é feita através de uma aplicação de RA, assim como a informação digital anexada aos modelos. O funcionamento desta aplicação assemelha-se à aplicação de RA desenvolvida pelo VTT, *Technical Research Center of Finland* (Woodward *et al.*, 2010). Esta aplicação

fornece a visualização, interação e inserção de informação do local de obra. Por forma a manter o sistema leve e com a operabilidade necessária, a projeção dos modelos é fornecida pelo sistema nuvem (aplicação *SaaS*).

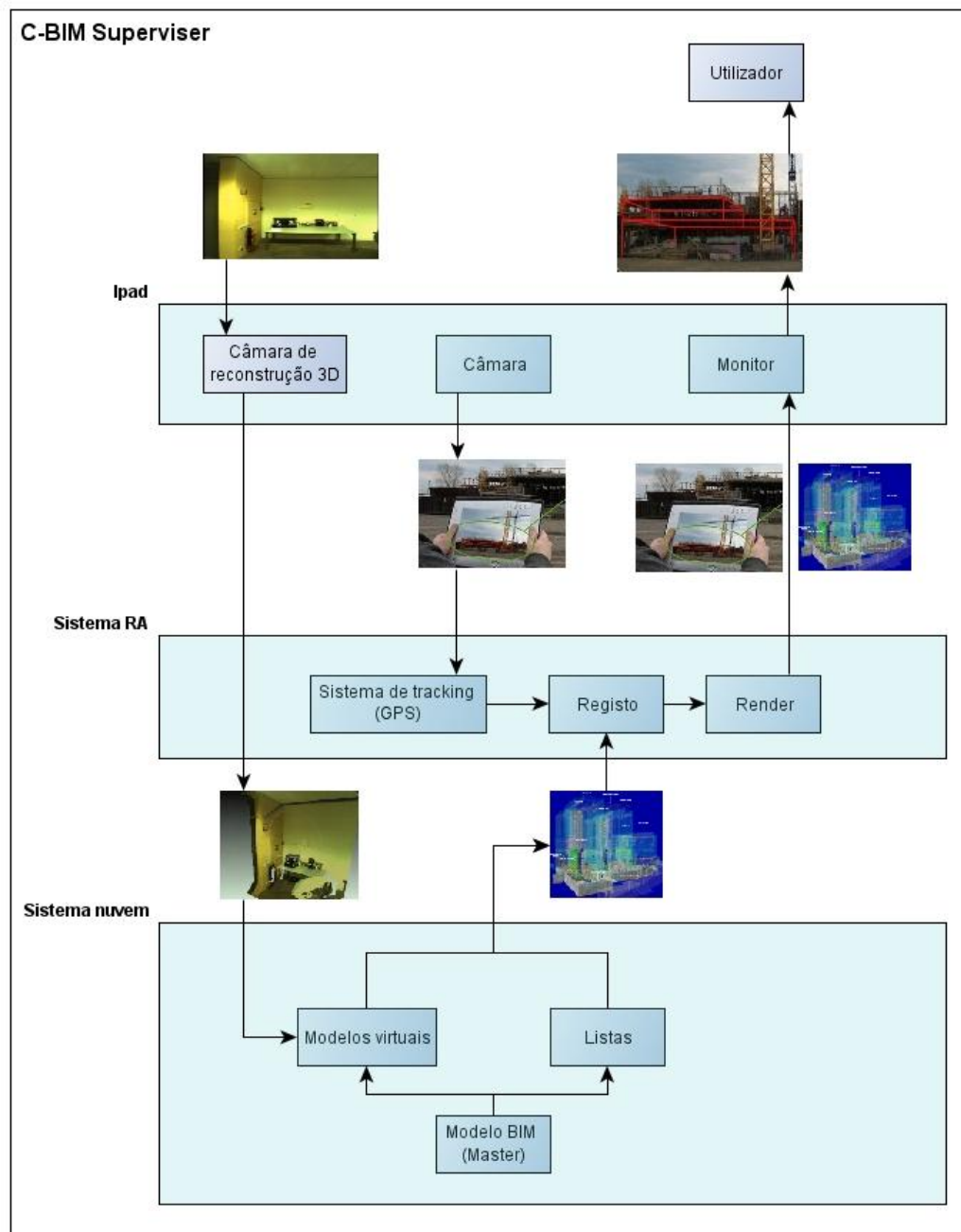


Figura 5.13 – Componentes tecnológicos do módulo C-BIM *Supervisor*

O módulo C-BIM *Manager* foi desenvolvido com o intuito de ser utilizado exclusivamente em ambientes de escritório para gestão e modificação da informação e documentos de projeto. Com isto em mente, os componentes tecnológicos teriam de permitir o processamento dos dados recolhidos em obra imune a erros de interpretação, uma manipulação interativa dos modelos vir-

tuais e a sua partilha com elementos internos e externos da empresa. Os diferentes componentes tecnológicos que constituem este módulo encontram-se representados na Figura 5.14.

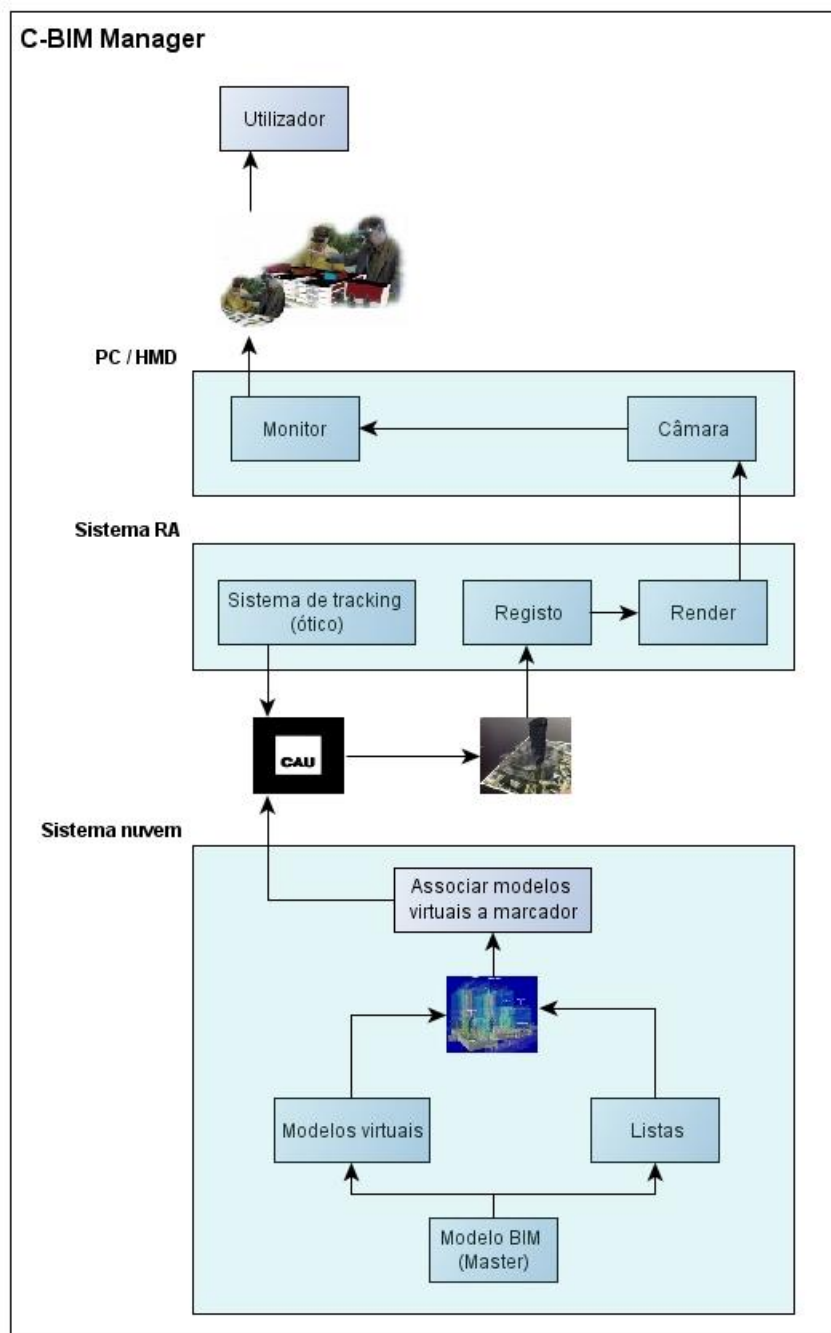


Figura 5.14 – Componentes tecnológicos do módulo C-BIM *Manager*

Por forma a fornecer uma visualização rica dos modelos virtuais, os dispositivos de projeção do módulo terão de possuir processadores gráficos capazes de realizar o *rendering* dos modelos virtuais e de toda a informação digital sem interrupções, e incluir câmaras digitais capazes de proporcionar uma experiência realista aos utilizadores. Assim, a plataforma suporta a utilização de computadores portáteis e/ou desktops – desktops a serem utilizados em sede, e portáteis em obra. O rastreamento dos modelos virtuais neste módulo é alcançado através de sistemas óticos,

baseados em marcadores. Cada modelo é associado a um marcador, podendo ser projetado sobre qualquer superfície, independente da localização geográfica atual do utilizador. Por sua vez, a projeção visual dos modelos virtuais é feita através de aplicações de RA, similares à desenvolvida pelo *Human Interface Technology Laboratory (HitLab) and ARToolworks, Inc.* (Kato, 2003). A utilização de HMD's e das propriedades da interface do tipo *Visual* (descrita no capítulo 2) permite aos utilizadores uma manipulação interativa dos modelos virtuais sobre a sua vista real. Isto permite uma interação eficaz entre os diferentes intervenientes do processo de GNC. Aliando esta técnica a uma funcionalidade de *video stream*, é possível partilhar eficazmente o progresso atual da obra com o cliente, independentemente da sua localização geográfica atual. Assim, o cliente tem a oportunidade de acompanhar ativamente o progresso da obra (através da projeção dos diferentes modelos virtuais) e é-lhe fornecida uma perspetiva real das alterações de projeto previstas, através da manipulação interativa dos modelos virtuais com recurso ao sistema de RA.

5.2. Modelação dos processos da plataforma

Com a arquitetura do sistema da plataforma desenvolvida, todos os processos da plataforma foram modelados com recurso à técnica de modelação IDEF0.

A Figura 5.15 apresenta o diagrama de contexto da plataforma C-BIM-*thru*-AR. Este modelo inclui as interfaces, funcionalidades e comandos da plataforma. O propósito da plataforma é fornecer meios eficazes de comunicação e partilha de informação durante todo o processo de construção de um empreendimento.

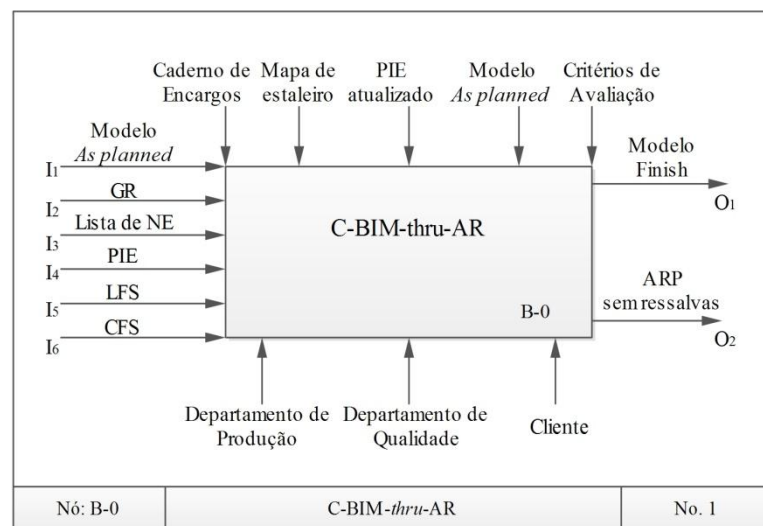


Figura 5.15 – Modelo de contexto da plataforma proposta

A Figura 5.15 mostra que o objetivo final da utilização da plataforma durante a GNC é apresentar um modelo virtual 3D do estado final dos trabalhos – validado pelo cliente - e elaborar o respetivo auto de receção provisória. Os principais *inputs* necessários ao funcionamento da plataforma são a lista de notas de encomenda e o modelo BIM do projeto. As diferentes funcionalidades da plataforma são controladas pelos controles do sistema. Estes são responsáveis por intro-

duzir os limites e valores desejados para um determinado projeto, por forma a eliminar potenciais erros humanos aquando da utilização da plataforma.

5.2.1. Lista de atividades

B0 – Gestão de não conformidades

B1 – Supervisão em obra

B11 – Supervisão de materiais

B111 – Alterar *status* do material para entregue

B112 – Identificar materiais – reconstrução 3D

B113 – Inserir resultados da inspeção e/ou ensaios

B114 – Adicionar a folha de movimentos de materiais

B115 – Adicionar a lista de materiais não conformes

B12 – Armazenamento de materiais

B121 – Localizar lote

B122 – Inserir objeto em lote

B123 – Atualizar modelos

B13 – Supervisão da execução de trabalhos

B131 – Iniciar sobreposição

B132 – Descarregar coordenadas do elemento

B133 – Reconstrução 3D

B134 – Adicionar ao modelo *As built*

B135 – Adicionar ao modelo *Ocorrências* e abrir notificação

B2 – Gestão em obra

B21 – Gestão de materiais

B211 – Atribuir demérito

B212 – Enviar requisição

B213 – Visar guia de remessa

B22 – Gestão da execução de trabalhos

B221 – Inserir resultados de testes e/ou ensaios

B222 – Adicionar ao modelo *Concluído*

B223 – Elaborar RO e anexá-lo ao modelo *Ocorrências*

B224 – Atribuir demérito

B3 – Gestão em sede

B31 – Controlo de documentos, listas e registos

B311 – Verificar valores e/ou índices

B312 – Elaborar relatório de avaliação a fornecedores e subem-

preiteiros

B313 – Eliminar avaliações negativas

B314 – Alterar documento

B32 – Gestão de materiais não conformes

B321 – Elaborar nova nota de encomenda

B322 – Atualizar lista de notas de encomenda

B33 – Gestão de trabalhos não conformes

B331 – Associar modelos a marcadores

B332 – Averiguar responsabilidade da NC e anexar a modelo

Ocorrências

B333 – Inserir causas da NC e atualizar modelo *Ocorrências*

B334 – Inserir medidas corretivas e anexar a modelo *Correções*

B34 – Partilha de informação

B341 – Associar modelos a marcador

B342 – Iniciar *video stream* para acompanhamento

B343 – Iniciar *video stream* para vistoria final

B344 – Manter elementos no modelo *As Built*

B345 – Adicionar ao modelo *Reclamações*

B346 – Adicionar ao modelo *Finalizado*

B347 – Elaborar auto de recepção provisória

5.2.2. Lista de fluxos

A

Auto de recepção provisória sem ressalvas (ARP sem ressalvas)

Avaliações positivas

C

Cadastro de fornecedores e subempreiteiros (CFS)

Cadastro de fornecedores e subempreiteiros atualizado (CFS atualizado)

Coordenadas do elemento conforme

Coordenadas do elemento não conforme

E

Elementos com reclamações

Elemento conforme

Elemento não conforme

Elemento 3D

F

Folha de movimento de materiais

G

Guias de remessa (GR)

Guia de remessa aceite (GR aceite)

Guias de remessa rejeitada (GR rejeitada)

Guia de remessa visada (GR visada)

L

Lista de fornecedores e subempreiteiros aprovados (LFS)

Lista de fornecedores e subempreiteiros aprovados atualizada (LFS atualizada)

Lista de materiais não conformes

Lista de notas de encomendas (Lista NE)

Lista de notas de encomendas atualizada (Lista NE atualizada)

Lista de registos de inspeções e ensaios (Lista RIE)

Lotes disponíveis e capazes

M

Modelo *As built*

Modelo *As planned*

Modelo *Correções*

Modelo *Depósito*

Modelo *Concluído*

Modelo *Finalizado*

Modelo *Ocorrências*

Modelo *Reclamações*

Modelo *Segregação*

N

Notas de encomenda

Nova nota de encomenda (Nova NE)

O

Objeto alocado

Objetos 3D conformes

Objetos 3D não conformes

P

Plano de inspeções e ensaios (PIE)

Plano de inspeções e ensaios atualizado (PIE atualizado)

Projeção Modelo *As built*

Projeção Modelo *Concluído*

Projeção Modelo *Ocorrências*

Projeção Modelo *Reclamações*

R

Relatório de avaliações negativas

Requisição de nova nota de encomenda (Requisição de nova NE)

Resultados

5.2.3. Interfaces da plataforma C-BIM-thru-AR

As interfaces que compõem a plataforma, a informação transferidas entre elas e as suas interações são representadas na Figura 5.16.

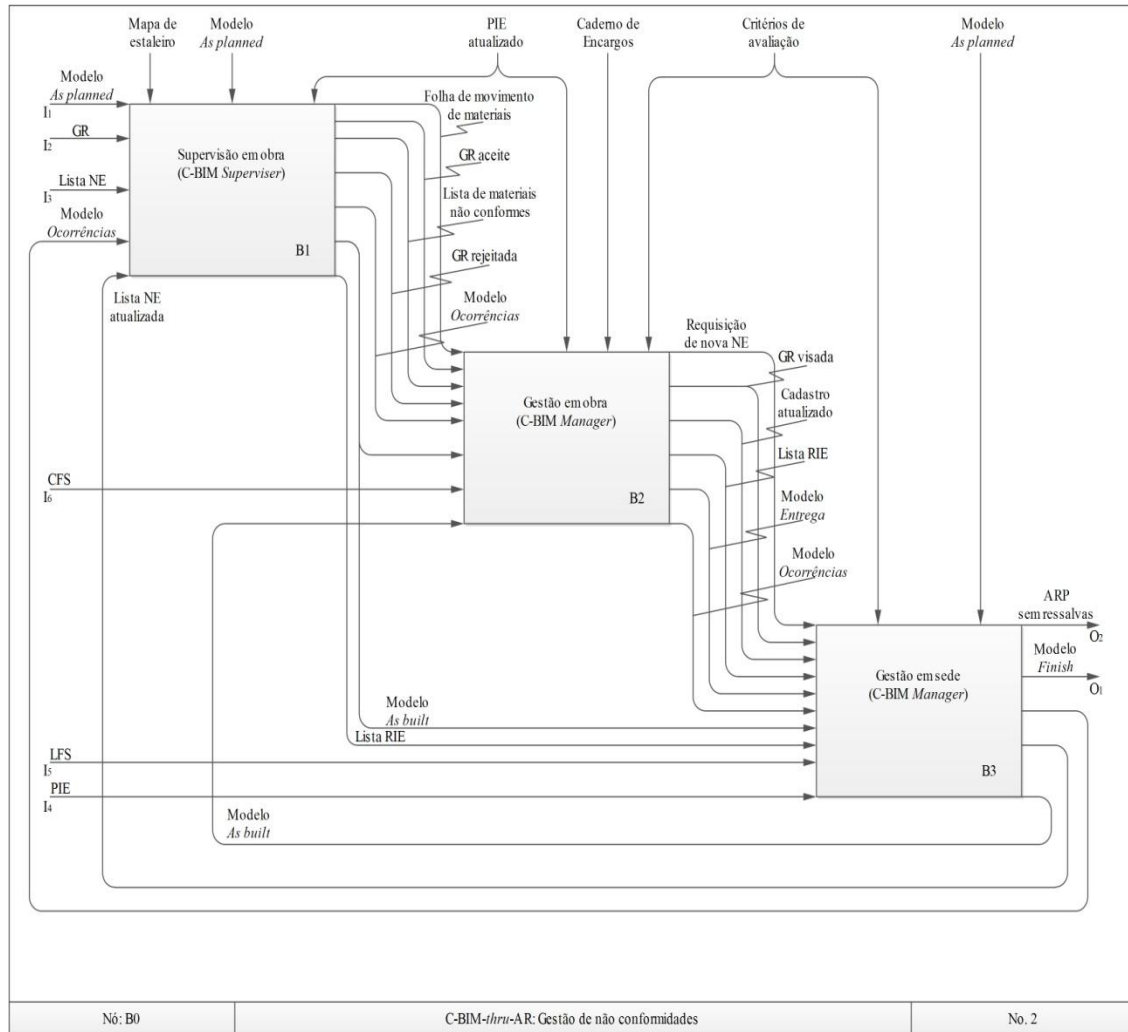


Figura 5.16 – Interfaces da plataforma C-BIM-thru-AR

Neste mapa é possível identificar os fluxos partilhados entre as diferentes interfaces. Foi decidido desenvolver três interfaces distintas por forma a restringir o acesso à informação presente na plataforma. Esta limitação foi imposta para que cada interface esteja restrita a um número determinado de trabalhadores, dependendo da sua profissão e nível de responsabilidade, com o objetivo de só fornecer os meios estritamente necessários a um determinado colaborador desempenhar a sua função eficazmente. Isto foi alcançado ao limitar as bases de dados a que cada interface tem acesso. As funcionalidades de cada interface serão descritas em seguida.

5.2.4. Interface C-BIM *Supervisor*

A Figura 5.17 representa as funcionalidades da interface C-BIM *Supervisor*. Esta interface é para uso exclusivo em obra e destinada exclusivamente à direção de obra. A sua utilização é direcionada para a supervisão e recolha de dados de obra. As funcionalidades da presente interface são supervisão de materiais, armazenamento de materiais e execução de trabalhos. Estas funcionalidades são controladas pelo plano de inspeção e ensaios, pelo mapa de estaleiro e por uma barreira linguística, respetivamente.

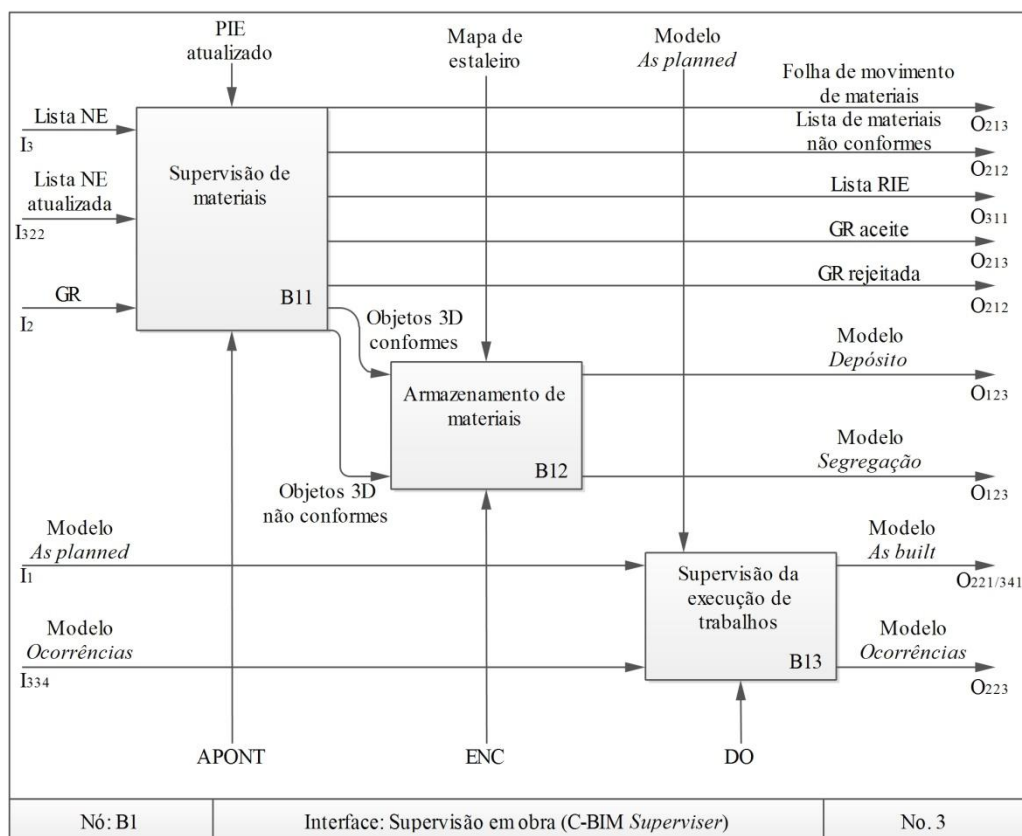


Figura 5.17 – Interface C-BIM *Supervisor*

O objetivo de inserir os referidos controlos na interface é diminuir o erro humano, tanto na introdução de informação na plataforma como na interpretação da informação por ela disponibilizada. O plano de inspeção e ensaios (PIE) é inserido na plataforma no início de cada projeto e controla o intervalo de valores onde os materiais ou trabalhos são considerados conformes, caso se aplique. O controlo mapa de estaleiro é responsável por garantir o correto armazenamento dos materiais entregues em obra, sendo inserido no início de cada projeto. Finalmente, o modelo *As planned* impede que um elemento com uma medida corretiva pendente seja inserido no modelo *As built*.

5.2.4.1 Funcionalidades da interface C-BIM *Supervisor* – Supervisão de materiais

A Figura 5.18 apresenta os comandos incluídos na funcionalidade “Gestão de materiais”. Esta, tem como objetivo controlar a entrada de materiais em obra, verificando a sua conformidade

de acordo com os valores descritos no plano de inspeção e ensaios e/ou a condição em que dão entrada em obra.

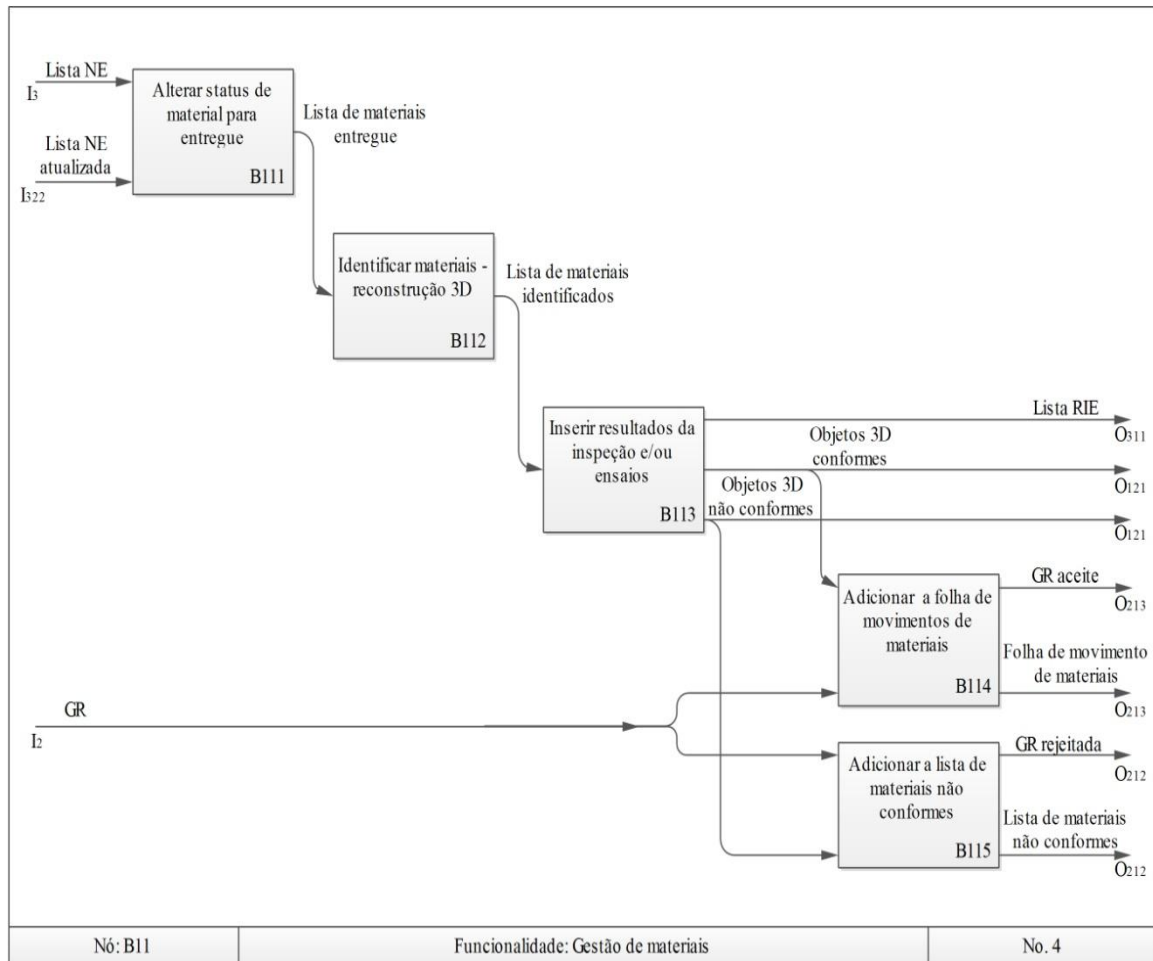


Figura 5.18 – Funcionalidade da interface C-BIM *Supervisor*

A presente funcionalidade é usada pelo apontador assim que um material é entregue em obra. Com a chegada do material à obra, o apontador verifica a lista de notas de encomenda, de modo a averiguar se o material foi entregue na data correta, alterando o *status* do material para “entregue” e adicionando-o à lista de materiais entregues. Em seguida, inicia a reconstrução virtual do lote para ser introduzido na plataforma, passando a denominar-se por objeto “X” 3D. Assim que obtiver o resultados das inspeções e/ou ensaios, introduz os valores na plataforma. No caso de se encontrarem no intervalo de valores previstos pelo plano de inspeção e ensaios, a plataforma atualiza automaticamente o *status* do objeto 3D para conforme, adiciona-o à folha de movimentos de materiais e aceita a respetiva guia de remessa. No caso dos valores introduzidos não se encontrarem no intervalo previsto, o *status* do objeto 3D é alterado para não conforme, o objeto adicionado à lista de materiais não conformes e a respetiva guia de remessa rejeitada.

Toda a informação recolhida pela presente funcionalidade é enviada através de notificações para o diretor de obra, dispondo da informação através da interface C-BIM Manager (Figura 5.21).

5.2.4.2 Funcionalidades da interface C-BIM *Supervisor* – Armazenamento de materiais

A Figura 5.19 representa a funcionalidade “Armazenamento de materiais” e os seus respetivos comandos. A sua finalidade é manter os depósitos de materiais organizados e documentados, para que os responsáveis tenham conhecimento do local onde se encontra o material.

A presente funcionalidade é prevista ser utilizada pelo encarregado. Assim que o estado de conformidade de um material é identificado pela funcionalidade anterior (Figura 5.18) o encarregado recebe automaticamente uma notificação com a necessidade de armazenamento do respetivo material. O encarregado desloca-se então ao local de depósitos de materiais onde sobrepõe o objeto virtual, correspondente ao material, sobre a sua vista real. Em seguida, o sistema disponibiliza automaticamente o lote previamente definido (mapa de estaleiro) para albergar o material. O encarregado encerra o armazenamento com a atualização dos modelos, ficando estes disponíveis ao diretor de obra.

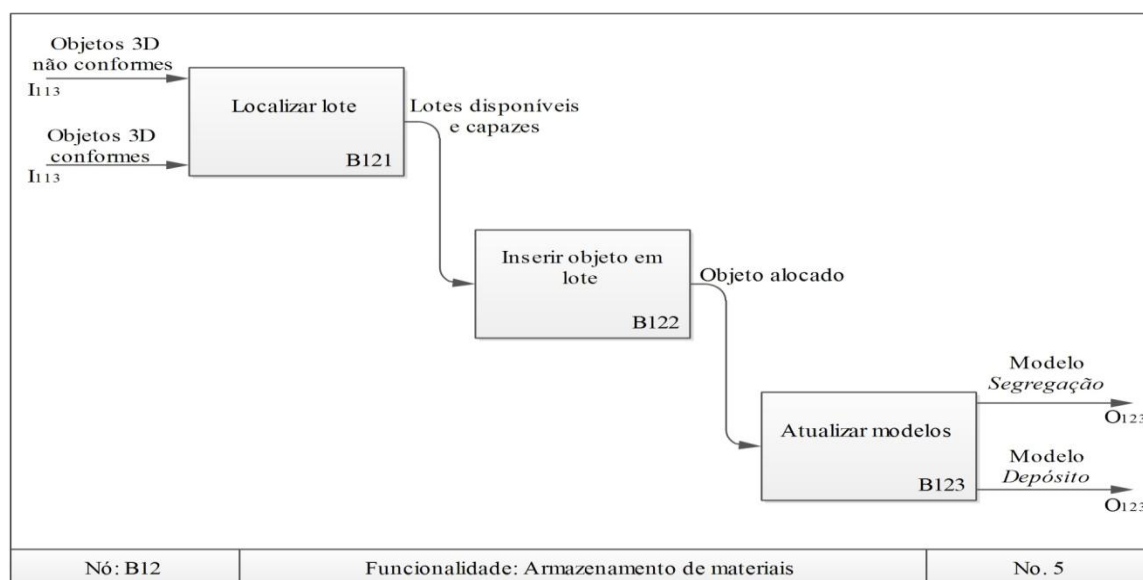


Figura 5.19 – Funcionalidade da interface C-BIM *Supervisor*

5.2.4.3 Funcionalidades da interface C-BIM *Supervisor* – Supervisão da execução de trabalhos

A funcionalidade “Supervisão da execução de trabalhos” e seus respetivos comandos encontram-se ilustrados na Figura 5.20. O objetivo desta funcionalidade é identificar e registar os padrões de qualidade da execução dos trabalhos.

A supervisão dos trabalhos é iniciada com a sobreposição do modelo virtual *As planned* sobre a vista real do utilizador. O passo seguinte será a localização dos elementos e sua reconstrução virtual 3D. O utilizador procede a este passo no caso de ter detetado um elemento não conforme (o elemento físico não coincide com o elemento virtual do modelo *As planned*) ou no caso de se encontrar a supervisionar um trabalho completo.

No caso de se tratar de um elemento não conforme, o utilizador retira as coordenadas geográficas do elemento e procede à sua reconstrução virtual. Findo o levantamento do elemento não conforme, abre uma notificação de NC, onde insere as coordenadas e a reconstrução do elemento não conforme, enviando a notificação para o diretor de obra validar a sua existência.

Em caso de elementos conformes, o utilizador procede aos passos anteriormente descritos, mas adiciona o elemento conforme, suas coordenadas e reconstrução virtual ao modelo *As built*, encontrando-se assim disponível um registo dos trabalhos completos não validados e/ou não inspecionados.

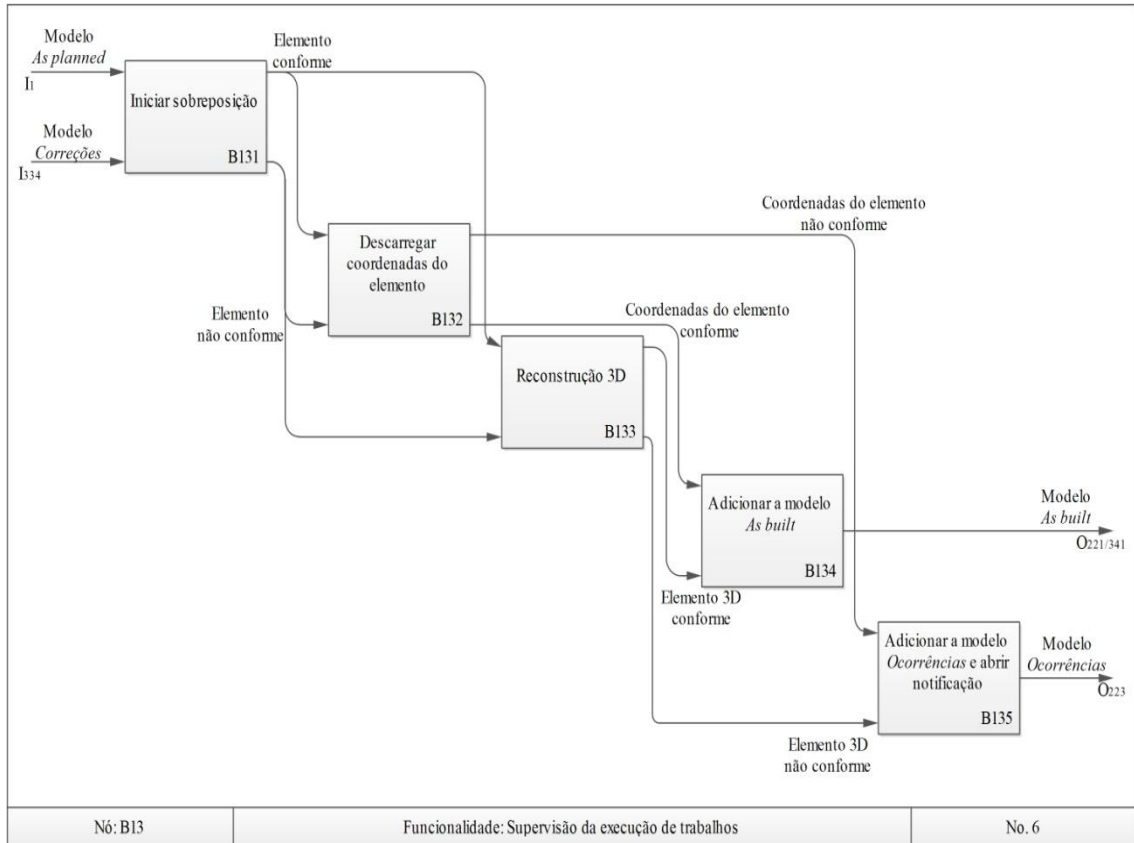


Figura 5.20 – Funcionalidade da interface C-BIM *Supervisor*

5.2.5. Interface C-BIM *Manager (Obra)*

A interface C-BIM *Manager (Obra)* e suas respetivas funcionalidades encontram-se representadas na Figura 5.21. Esta interface tem como objetivo a gestão de todos os documentos e modelos associados ao progresso da obra, sendo utilizada exclusivamente pelo diretor de obra. As funcionalidades são controladas pelos critérios de avaliação de desempenhos, plano de inspeção e ensaios, materiais que constam do caderno de encargos. Em termos de introdução dos mecanismos de controlo na plataforma, os critérios de avaliação encontram-se permanentemente na sua base de dados, independentemente do projeto (só alterada em caso de atualizações), o PIE como referido, introduzido a cada novo projeto, assim como a lista de materiais do caderno de encargos.

Relativamente às suas funções, os critérios de avaliação controlam os deméritos introduzidos pelo diretor de obra, ao atribuírem graus de importância a cada situação que originou a atribuição do demérito. O controlo providenciado pelo plano de inspeção e ensaios visa controlar os valores introduzidos das inspeções e/ou ensaios realizados aos trabalhos. Por último, a lista de materiais do caderno de encargos não permite ao diretor de obra inserir materiais que não constem na mesma, impossibilitando assim a encomenda de materiais incorretos.

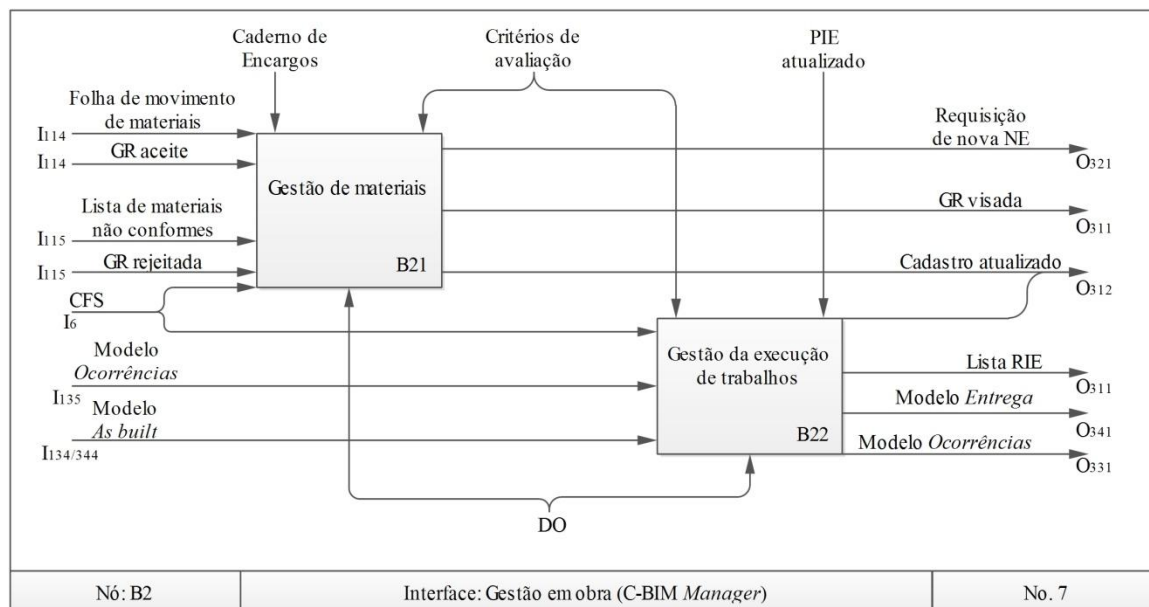


Figura 5.21 – Interface C-BIM Manager (Obra)

5.2.5.1 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Obra) – Gestão de materiais

A presente funcionalidade (Figura 5.22) tem como objetivo controlar a documentação associada à gestão de materiais.

Esta funcionalidade permite ao diretor de obra uma gestão eficaz de toda a documentação proveniente da entrada de materiais em obra. Ao receber as listas de matérias provenientes da obra (em tempo real), o diretor de obra pode imediatamente atribuir uma nota de demérito a um fornecedor, proceder à requisição de uma nova nota de encomenda ou visar uma guia de remessa. Para proceder à atribuição do demérito, o diretor de obra analisa o material em causa (analisa o modelo de *Segregação* e a informação anexada ao respetivo objeto virtual) e insere a razão que levou à consideração do material como não conforme. O sistema, com base nos critérios de avaliação de desempenho (controlo da funcionalidade), atribui automaticamente uma nota de demérito e atualiza o cadastro do respetivo fornecedor.

No que respeita à requisição de novas notas de encomenda, o diretor de obra apenas tem de confirmar a sua requisição. Ao serem inseridas guias de remessa rejeitadas no sistema, são geradas automaticamente requisições com o tipo e quantidades do material que foi considerado não conforme. No caso da entrada de guias de remessa aceites no sistema, o diretor de obra através de assinatura digital, visa-as, sendo a sua validade confirmada.

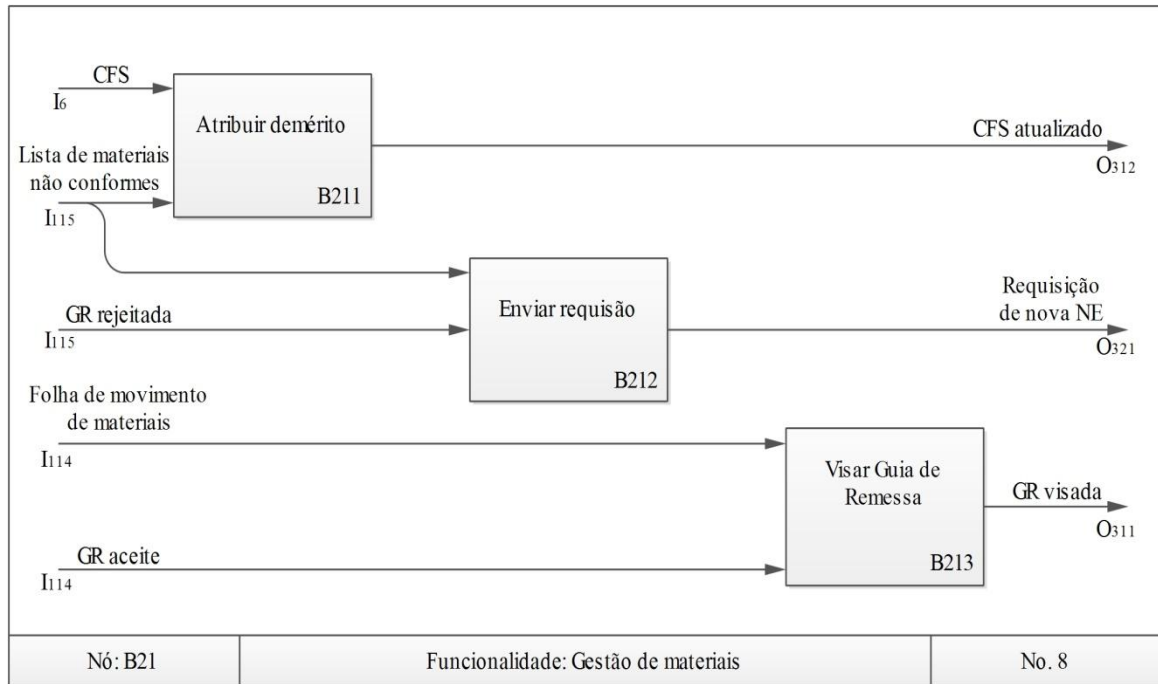


Figura 5.22 – Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Obra)

5.2.5.2 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Obra) – Gestão da execução de trabalhos

A funcionalidade “Gestão da execução de trabalhos” (Figura 5.23) tem como propósito averiguar a conformidade dos trabalhos executados e em execução, tendo em conta o modelo *As planned*.

A conformidade dos elementos pode ser averiguada em duas ocasiões, ou no decorrer da execução de um trabalho onde o elemento pode apresentar um defeito de execução, ou quando o trabalho se encontra completo e pode não estar de acordo com os padrões de qualidade contratados, por exemplo: resultados de ensaios não se encontram dentro do intervalo de valores definido pelo plano de inspeção e ensaios. Deste modo, a presente funcionalidade cria diferentes modelos para alocar os diferentes estados dos elementos. No modelo *As built* encontram-se os trabalhos completados mas não validados, no modelo *Ocorrências* são inseridos todos os elementos considerados não conformes e por fim, no modelo *Concluído* incorporam-se os elementos considerados como conformes pela direção de obra, mas não validados pelo cliente.

A presente funcionalidade permite ainda a gestão da documentação associada às NC. Em semelhança com a funcionalidade anterior (Figura 5.22), atribui notas de demérito e atualiza o cadastro de subempreiteiros automaticamente. Permite, também, a elaboração de relatórios de ocorrência de um modo simples e preciso, através do acesso a documentos padronizados e à base de dados *Ontologia*. Ao elaborar um relatório de ocorrência com auxílio da base de dados *Ontologia*, o diretor de obra tem acesso a um conjunto de dados pré-definidos que permitem descrever

a NC ocorrida facilmente. Com o relatório de ocorrência elaborado, o sistema envia uma notificação à sede dando conta da necessidade de resolução de uma NC.

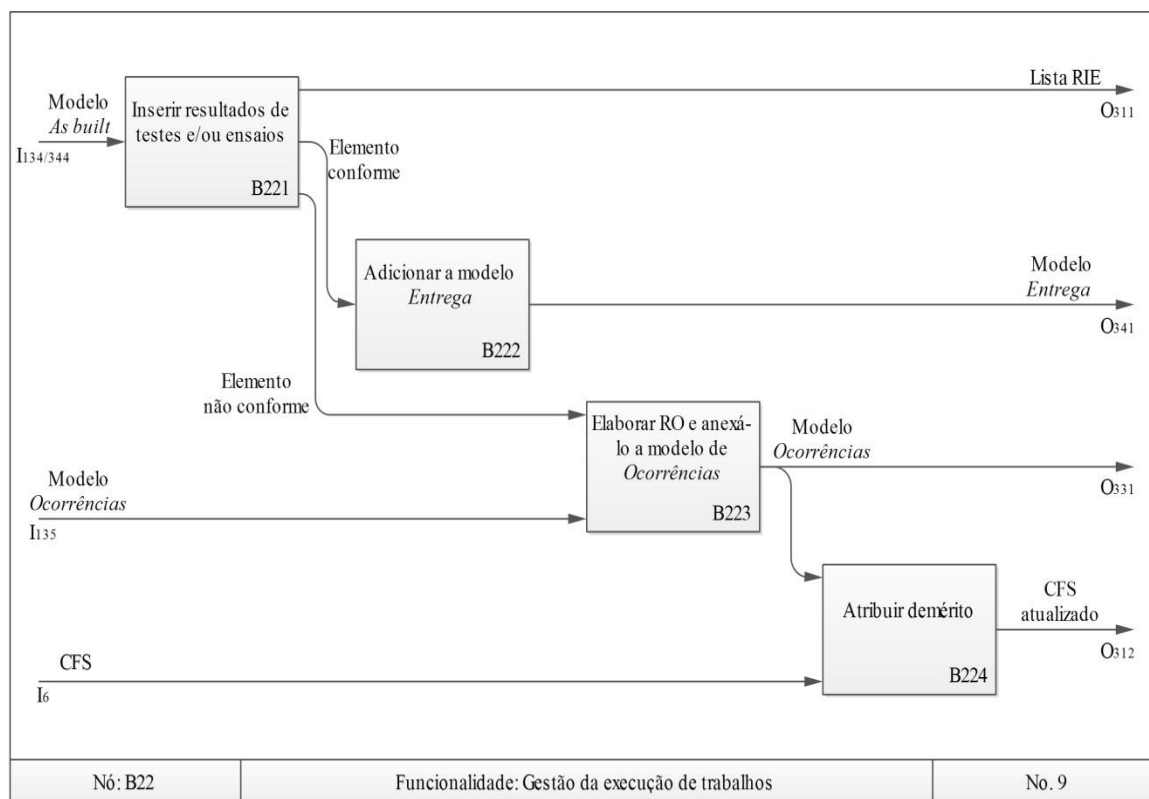


Figura 5.23 - Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Obra)

5.2.6. Interface C-BIM Manager (Sede)

A interface C-BIM Manager (Sede) e as suas funcionalidades encontram-se representadas na Figura 5.24. Esta tem como objetivos controlar o funcionamento da própria plataforma, resolver todo o tipo de NC e garantir a partilha de informação com elementos externos à empresa.

Os mecanismos de controlo presentes na interface são a lista de fornecedores e subempreiteiros aprovada e o modelo *As planned*. A lista de fornecedores e subempreiteiros aprovada pretende controlar a escolha de fornecedores para novas notas de encomenda, excluindo os que tenham sido avaliados negativamente. A lista de fornecedores e subempreiteiros aprovada encontra-se permanentemente no sistema da plataforma, sendo atualizada sempre que a avaliação de um fornecedor ou subempreiteiro seja alterada de positiva para negativa. O modelo *As planned* controla a escolha de medidas corretivas, não permitindo alterações de projeto. Este modelo é introduzido no sistema no início de cada projeto, podendo ser atualizado no caso de sofrer alterações por parte do cliente.

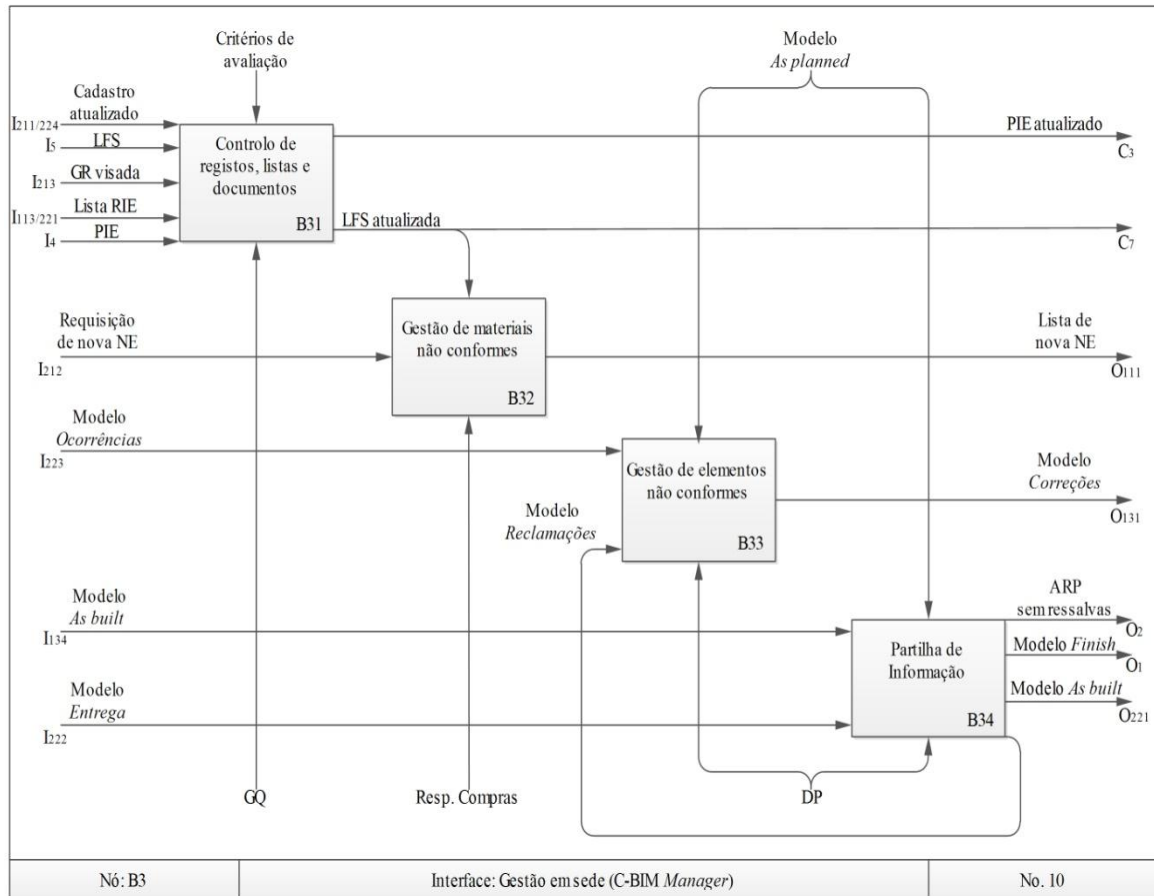


Figura 5.24 – Interface C-BIM Manager (Sede)

5.2.6.1 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Sede) – Controlo de documentos, listas e registos

A Figura 5.25 representa a funcionalidade “Controlo de documentos, listas e registos” e seus respetivos comandos. Tem como propósito manter todos os mecanismos de controlo da plataforma atualizados e dentro dos parâmetros corretos.

Sempre que um cadastro é atualizado ou uma lista de registos é elaborada, o gestor de qualidade recebe uma notificação do sucedido. No primeiro caso, tendo em conta as notas de demérito introduzidas elabora um relatório de avaliação por forma a validar o cadastro atualizado. No caso de o gestor de qualidade considerar que a avaliação atribuída pelo sistema é correta, dá ordem ao sistema para excluir os subcontratados com avaliações negativas da lista de fornecedores e subempreiteiros aprovada. No caso de receber uma notificação da elaboração de uma lista de registos, o gestor de qualidade verifica os seus valores e cruza-os com os valores requeridos pelo caderno de encargos do presente projeto.

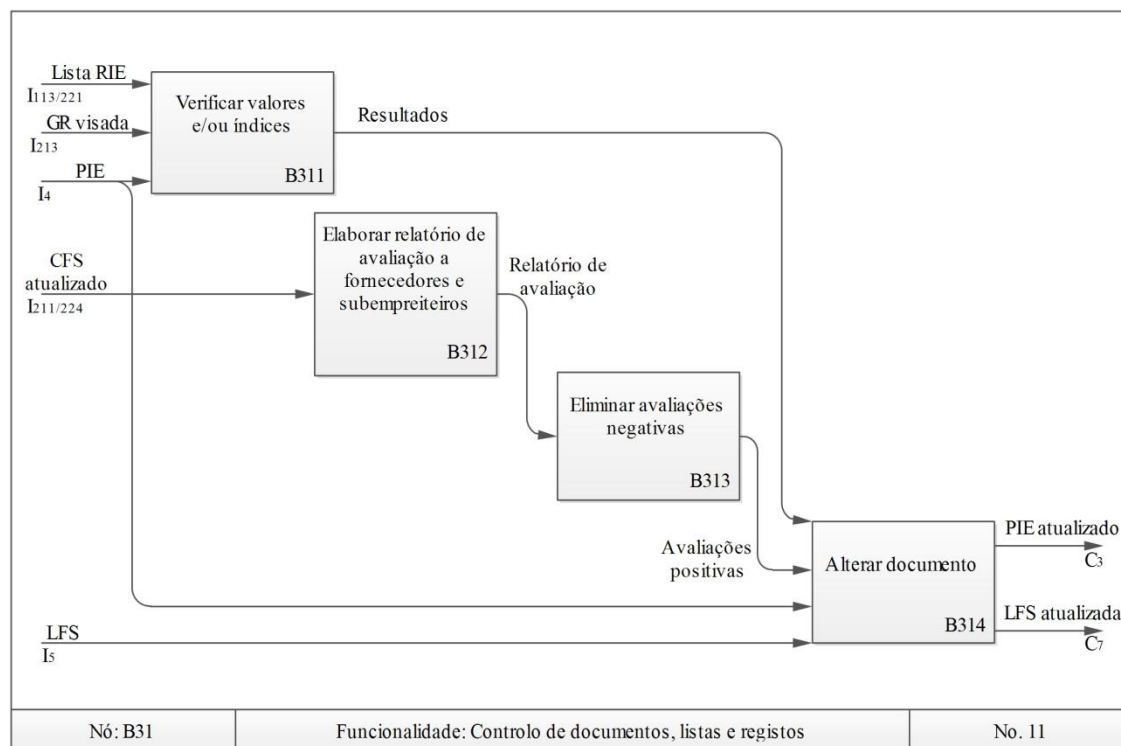


Figura 5.25 – Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Sede)

5.2.6.2 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Sede) – Gestão de materiais não conformes

A presente funcionalidade (Figura 5.26) pretende elaborar novas notas de encomenda, em concordância com a LFSA.

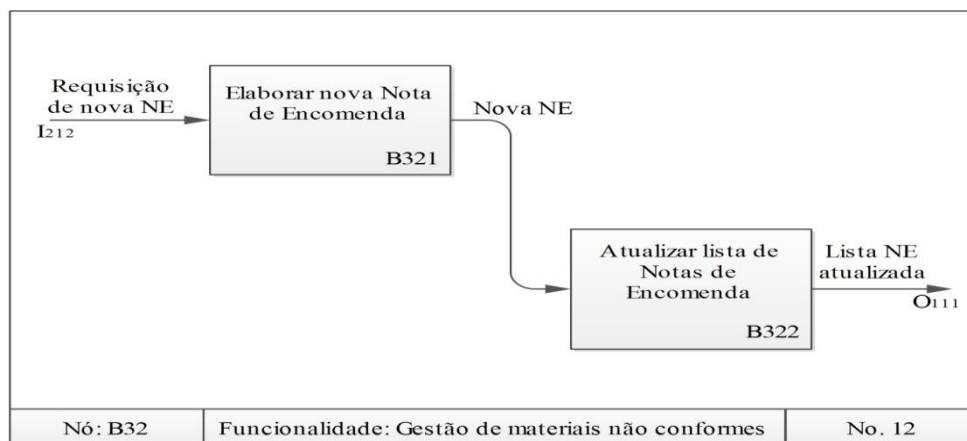


Figura 5.26 – Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Sede)

Com envio de uma requisição para uma nova nota de encomenda (enviada pela funcionalidade representada na Figura 5.22) o responsável de compras da empresa recebe uma notificação para a necessidade de elaborar nova nota de encomenda. O responsável aceita a requisição e dá ordem ao sistema para elaborar nova nota de encomenda. No caso de o fornecedor em causa ter entretanto sido excluído da lista de fornecedores e subempreiteiros aprovada, o sistema recusa a elaboração da nova nota de encomenda e apresenta os três fornecedores mais bem cotados para

garantir uma entrega conforme. Neste caso, novos contratos de adjudicação terão de ser elaborados. Esta particularidade não é prevista na plataforma.

5.2.6.3 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Sede) – Gestão de trabalhos não conformes

A funcionalidade representada na Figura 5.27 tem como objetivo escolher medidas corretivas capazes de eliminar NC entretanto detetadas.

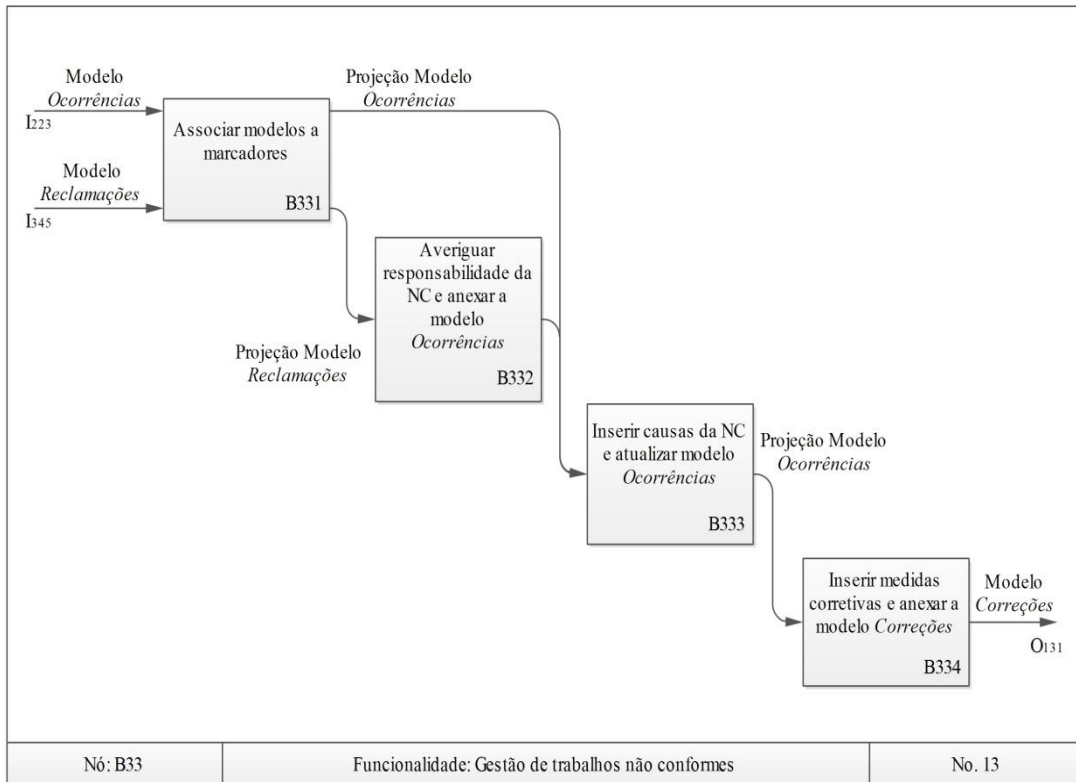


Figura 5.27 – Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Sede)

Assim que um elemento não conforme é adicionado ao modelo *Ocorrências* ou *Reclamações*, o diretor de produção é imediatamente notificado. Por forma a facilitar a perceção do estado atual da obra, do elemento não conforme e de como este afeta o progresso da obra, a presente funcionalidade permite aos utilizadores visitas virtuais ao empreendimento. O utilizador, ao associar um determinado modelo a um marcador ótico, obtém uma projeção virtual 3D sobre a sua vista real. Em seguida, o diretor de produção, em conjunto com o gestor de qualidade, analisa as causas da ocorrência da NC e escolhe uma medida corretiva apropriada. Através da base de dados *Historial de projetos*, o diretor de produção possui acesso a informação de projetos anteriores, permitindo verificar medidas corretivas utilizadas anteriormente para eliminar NC idênticas à presente. Isto possibilita ao diretor de produção um aumento na sua capacidade de decisão e uma diminuição do tempo de resposta à ocorrência. Com as causas identificadas e as medidas escolhidas, o diretor de produção atualiza o relatório de ocorrência e adiciona o elemento virtual ao modelo *Correções*, com as respetivas medidas anexadas. Através de um código de cores, identifi-

ca quais os elementos não conformes a serem primeiro intervencionados, como referido na subsecção 5.1.4.3. Assim que qualquer elemento é adicionado ao modelo *Correções*, é imediatamente enviada uma notificação de trabalho para a obra.

5.2.6.4 Funcionalidades da interface C-BIM Manager (Sede) – Partilha de informação

A funcionalidade “Partilha de informação” e respetivos comandos encontram-se representados na Figura 5.28. O propósito desta funcionalidade é proporcionar ao cliente um acompanhamento do progresso atual da obra, independentemente do local geográfico onde se encontra.

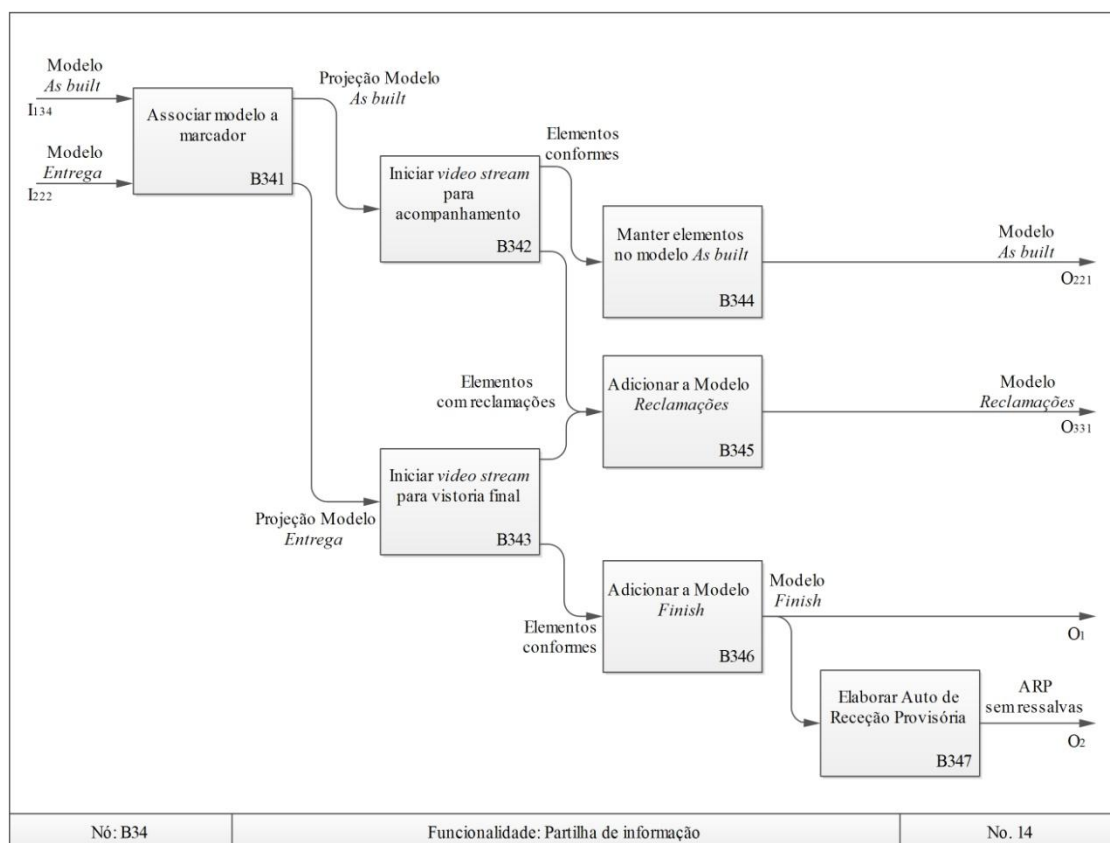


Figura 5.28 – Funcionalidade da interface C-BIM Manager (Sede)

Esta funcionalidade é desempenhada de igual forma à anterior (Figura 5.27). Contudo, a sua utilização está focada em partilhar informação com entidades externas à empresa. Esta funcionalidade permite ao cliente possuir a perceção das soluções alternativas propostas para a eliminação de NC persistentes, sem este ter de se deslocar à obra. Por último, esta funcionalidade é responsável por elaborar o auto de receção provisória sem ressalvas, só o permitindo quando todos os trabalhos e elementos do projeto estiverem incluídos no modelo *Finish*, aprovado pelo cliente.

A plataforma proposta pretende alterar o modo como o processo de GNC é abordado. Deste modo, os documentos e os procedimentos do processo tradicional de GNC (apresentado no capítulo 4), são alterados com o objetivo de tornar o processo mais eficaz e eficiente. Assim, a

plataforma prevê um processo automatizado e cíclico para GNC, através do desenvolvimento de uma rede de canais comunicativos baseados na utilização da mesma.

5.2.7. O ciclo para a resolução de não conformidades

Devido à incapacidade do método IDEF0 representar ciclos, como descrito no capítulo 3, aplicou-se uma abordagem *systems thinking* para o desenvolvimento do processo cíclico, representado na Figura 5.29.

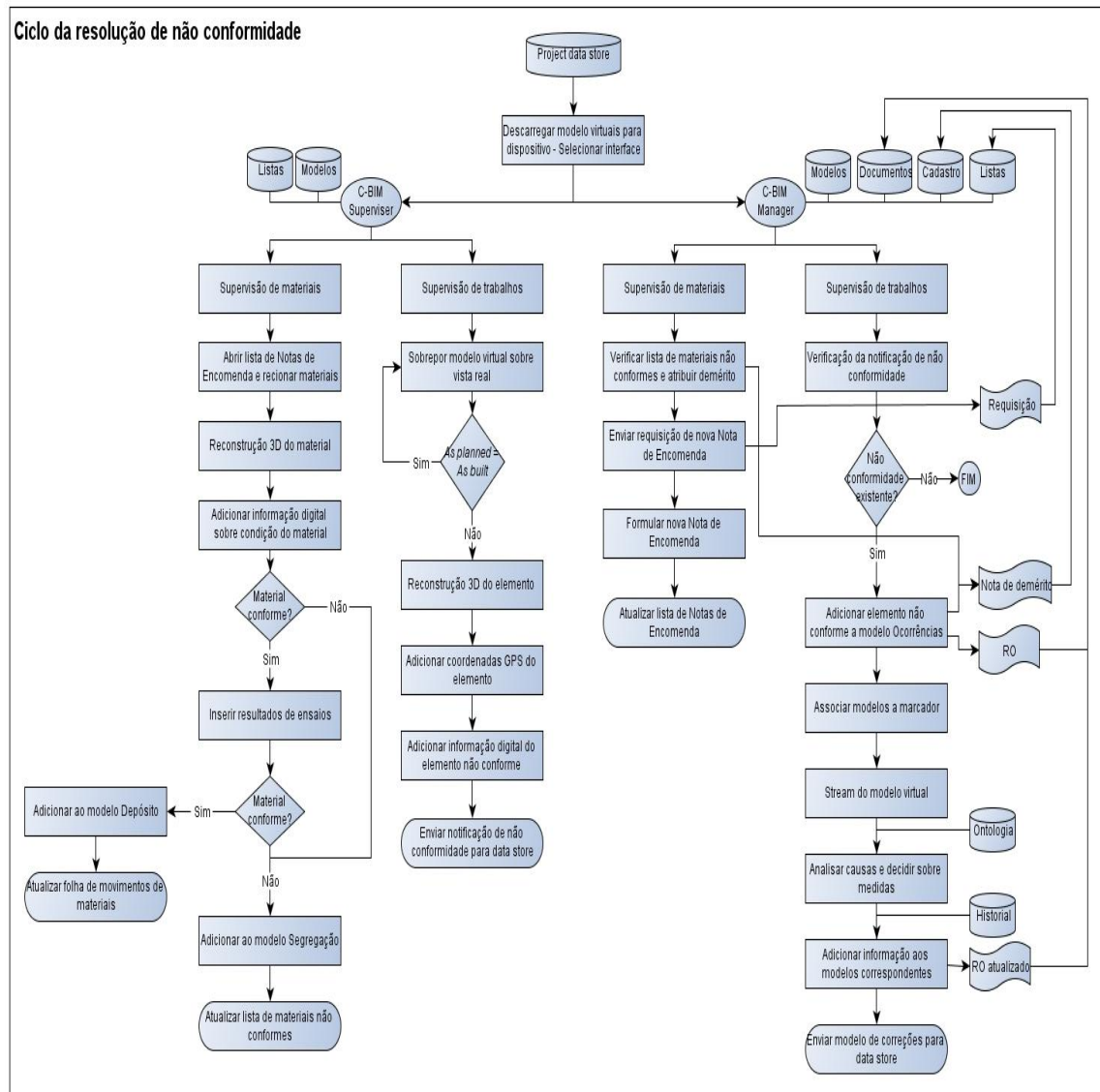


Figura 5.29 – Ciclo da resolução de não conformidades

5.2.8. Arquitetura da rede de canais comunicativos

A Figura 5.30 demonstra as interligações entre os diferentes espaços de trabalho dos diferentes intervenientes do processo automatizado e cíclico para a GNC.

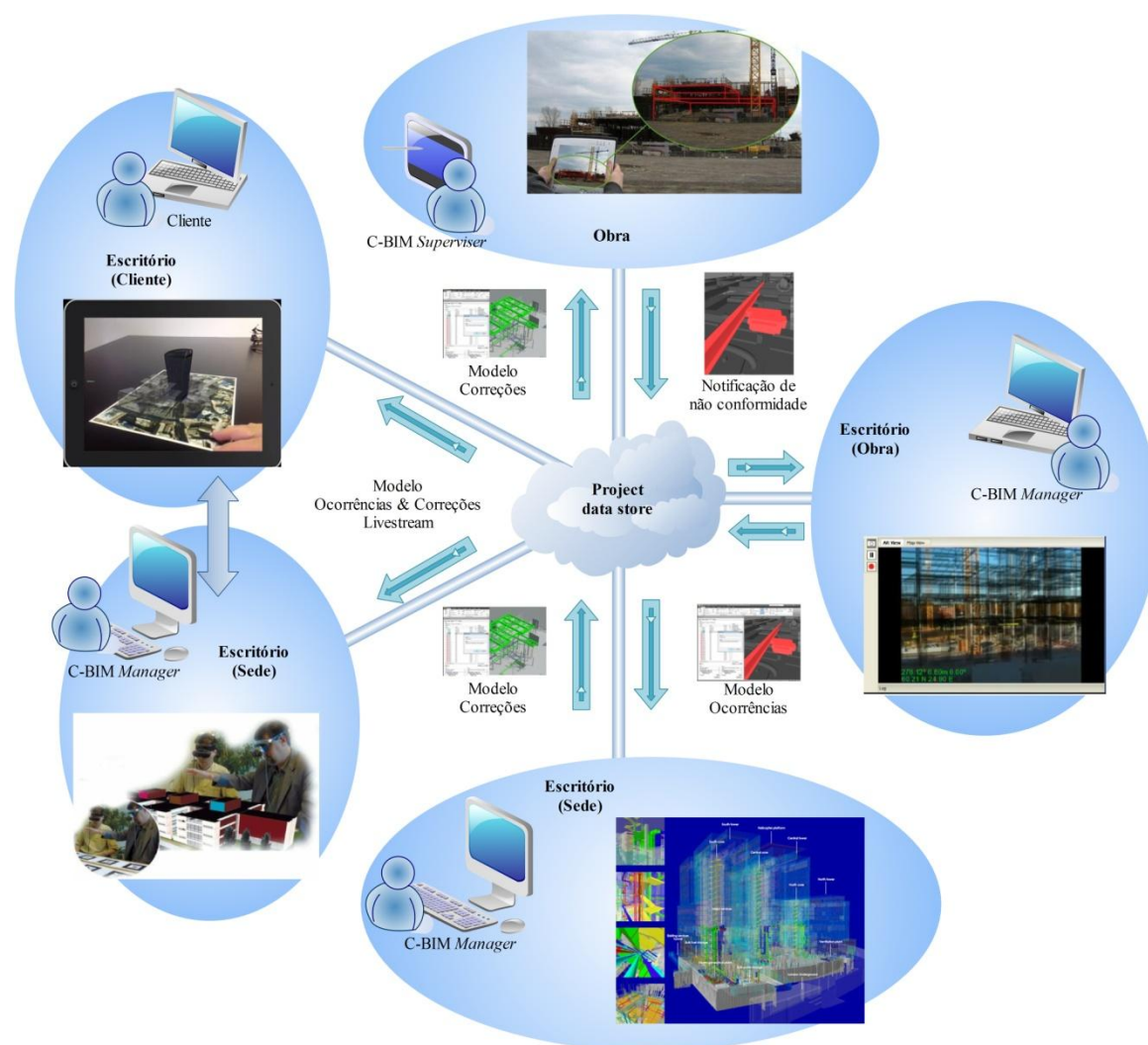


Figura 5.30 – Arquitetura da rede de canais de comunicação

A primeira fase foca-se na supervisão e monitorização dos elementos construtivos, na perspetiva da sua produção e qualidade. Nas secções anteriores, o módulo *C-BIM Supervisor* foi descrito para este propósito. Durante o processo da deteção da ocorrência de NC e na posterior execução dos respetivos trabalhos corretivos, várias partes estão envolvidas. Os intervenientes presentes em obra acompanham a atualização do estado dos elementos construtivos. A informação é então transmitida do módulo *C-BIM Supervisor* para o servidor das bases de dados e deste para o escritório em obra através da interface *C-BIM Manager (Obra)*. Neste ponto a notificação de NC entregue ao diretor de obra consiste numa reconstrução virtual 3D do elemento defeituoso, com informação digital anexada com as coordenadas geográficas da sua localização. O diretor de obra analisa a necessidade ou não de trabalhos corretivos. Caso seja confirmada a NC, o diretor de obra adiciona o elemento e toda a sua informação ao modelo *Ocorrências* e, através da função para elaboração de documentos e com o formato de documentos presentes na base de dados de documentos padronizados, abre um relatório de ocorrências.

Assim que o diretor de obra submete qualquer tipo de relatório, o diretor de produção e GQ são imediatamente notificados através da interface *C-BIM Manager (Sede)*. As restrições hierárquicas permitem ao diretor de produção e gestor de qualidade o acesso a todas as bases de dados disponíveis. Ao aceder a todas as bases de dados disponíveis, o diretor de produção e gestor de qualidade possuem a capacidade para avaliar as causas da NC e decidir sobre quais as medidas corretivas mais apropriadas, com o auxílio das bases de dados *Historial* e *Ontologia*, que incluem experiências de outros projetos na resolução de NC. Neste instante, o modelo é denominado por modelo *Correções*, consistindo num modelo virtual com informação digital anexada que inclui as coordenadas da localização da NC, uma reconstrução virtual 3D do elemento não conforme, as instruções e responsabilidades do trabalho corretivo.

O ciclo é finalizado com a comunicação das medidas corretivas adotadas ao cliente e ao diretor de obra, que por sua vez transmite-as às partes responsáveis (encarregado e respetivos subempreiteiros). A comunicação e partilha de informação entre sede e cliente são garantidas pelo sistema de RA, incorporado no módulo *C-BIM Manager* e pela sua funcionalidade *live stream*. O utilizador que se encontra na sede projeta os modelos virtuais *Ocorrências* e *Correções* no seu escritório, e interage com o cliente. Com este canal comunicativo, o cliente tem a possibilidade de visualizar os modelos virtuais e simultaneamente observar os gestos e comentários do utilizador presente na sede. Isto proporciona ao cliente a oportunidade de participar ativamente na garantia dos padrões de qualidade do empreendimento, independentemente da sua localização geográfica atual. Da perspetiva dos trabalhadores em obra, estes são notificados assim que o modelo *Correções* é aprovado e disponibilizado. Assim que possuem acesso a este modelo, podem aceder às instruções do respetivo trabalho corretivo, todos os desenhos necessários à sua execução e ao relatório de ocorrências. Através de um código de cores, aplicado a cada elemento não conforme presente no modelo *Correções*, é disponibilizada ao diretor de obra uma lista priorizada de trabalhos.

6. DISCUSSÃO

Neste capítulo é realizada uma análise comparativa entre o processo de GNC quando baseado num SGQ tradicional e quando baseado na plataforma C-BIM-*thru*-AR.

6.1. Processo de GNC baseado num SGQ tradicional

Na presente secção é apresentado o processo para a resolução de uma NC durante um projeto de construção, consoante os dados levantados durante o mapeamento de processos realizado no capítulo 4. Assim, o processo previsto em SGQ tradicionais para a GNC encontra-se representado na Figura 6.1. Para além disso, com a informação retirada dos mapas IDEF0 – apresentados no capítulo 4 – e das entrevistas realizadas, são identificados os tipos e causas de erros passíveis de ocorrer em cada passo do processo da Figura 6.1.

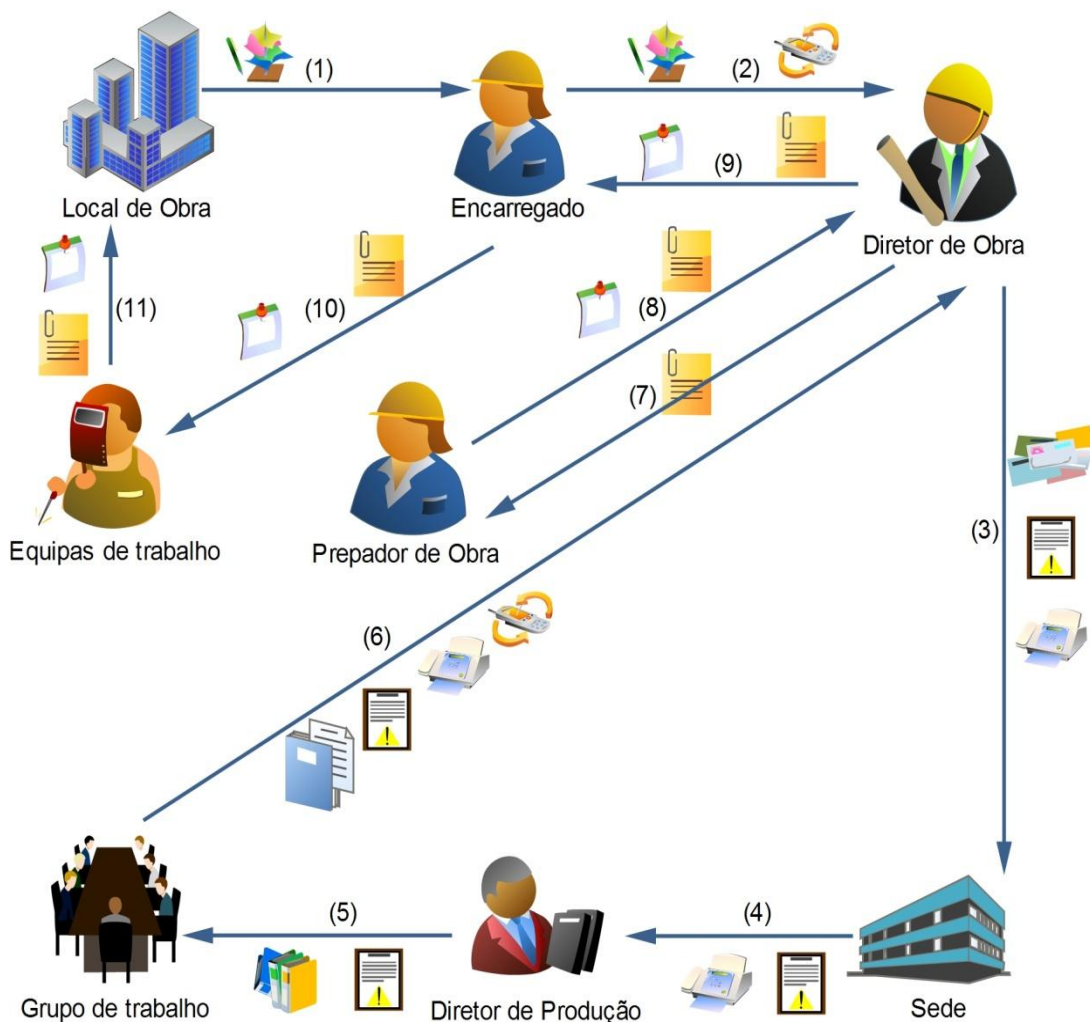


Figura 6.1 – Processo de resolução de NC consoante as diretrizes de um SGQ tradicional

- **O cenário para a resolução de uma NC será o seguinte:**
 - 1) O Encarregado durante a supervisão da obra deteta uma NC. Aponta a sua localização e tipo de NC (informação preliminar) num *post-it* ou folha em papel.
 - 2) A ocorrência é transmitida ao Diretor de Obra através de uma comunicação informal (verbal) com recurso a telemóvel ou rádio.
 - 3) O Diretor de Obra analisa as causas da ocorrência e propõe uma medida corretiva. Tanto a ocorrência, como as causas e a medida proposta são registadas no Relatório de Ocorrência. O relatório é então enviado para sede através de *fax*, correio ou correio electrónico, acompanhado do documento Comunicação de Obra. O Diretor de Obra assinala o envio do relatório no documento Envio de Documentos.
 - 4) O Diretor de Produção recebe o Relatório de Ocorrência, efetua uma cópia do mesmo e arquiva-a como Ocorrência Aberta.
 - 5) O Diretor de Produção reúne um grupo de trabalho (Gestor de Qualidade incluído) e toda a informação relevante (especificações de projeto, especificações dos materiais utilizados, medições ou ensaios) para o caso. As causas mencionadas no relatório são analisadas, assim como a respetiva medida corretiva.
 - 6) Caso se confirmem as causas e se considere a medida corretiva como apropriada, estas são aprovadas e reenviadas para o Diretor de Obra através de *fax* ou correio. No caso de se considerar as causas ou medidas como incorretas, é solicitado ao Diretor de Obra nova análise da ocorrência.
 - 7) O Diretor de Obra acusa a receção do Relatório de Ocorrência e dá como aberta a execução da medida corretiva. No caso de haver necessidade de elaborar novos desenhos de pormenorização, são entregues instruções escritas ou verbais ao Preparador de Obra para a elaboração dos mesmos.
 - 8) Com a conclusão dos novos desenhos, estes são entregues em mão ao Diretor de Obra. Se não se verificar a necessidade de elaborar desenhos de pormenorização, excluem-se os passos 7 e 8.
 - 9) O Diretor de Obra entrega as instruções escritas ou verbais, ou novas pormenorizações no caso de se aplicar, ao Encarregado.
 - 10) O Encarregado toma as medidas necessárias de modo a reunir as equipas das diversas especialidades que irão intervir na correção da NC. Entrega as instruções ou desenhos às respetivas equipas de trabalho.
- **Erros passíveis de ocorrer em cada um dos passos:**
 - 1) O Encarregado pode negligenciar algumas NC ocorridas. No caso de detetar uma NC, pode anotar incorretamente o local e/ou o tipo da mesma.
 - 2) A informação poderá ser transmitida incorretamente ou interpretada incorretamente.

- 3) A informação poderá ser registada incorretamente nos documentos. Além do mais, os documentos podem ser extraviados caso sejam enviados por correio.
 - 4) As cópias podem ser armazenadas em Sede incorretamente.
 - 5) Além de todos os documentos utilizados poderem estar sujeitos a erros de introdução de dados, podem também ser interpretados incorretamente pelos intervenientes. Os documentos poderão não estar disponíveis em tempo oportuno, comprometendo a fiabilidade da análise.
 - 6) Mais uma vez, os documentos enviados por correio podem ser extraviados. No caso de existir necessidade de nova análise, devido à complexidade e burocracia do processo as medidas corretivas necessárias não são tomadas atempadamente.
 - 7) Negligência das medidas corretivas. Incorreta interpretação das instruções escritas, resultando em desenhos incorretos.
 - 8) Incorreta alocação das peças desenhadas.
 - 9) *Idem.*
 - 10) Incorreta coordenação das equipas. Informação transmitida incorretamente.
- **Causas dos erros:**
 - 1) Inexistência de ferramentas de análise no local de obra, em particular de ferramentas que permitam uma comparação efetiva entre o previsto (*Modelo As planned*) e o realizado (*Modelo As built*), cujo risco aumenta em projetos de elevada complexidade e dimensão. Inexistência de ferramentas eficazes para a recolha de dados, ou seja, os dados são normalmente recolhidos de obra manualmente o que provoca erros de *input* de dados.
 - 2) Os meios de comunicação utilizados não permitem uma partilha de informação eficaz e imune a erros de interpretação, devido a não incluírem uma componente visual associada à informação transmitida. Isto leva a que os intervenientes interpretem a informação consoante a sua formação, criando os seus modelos mentais individuais. Além do mais, os meios correntes não são capazes de processar eficazmente o elevado volume de informação produzida durante os projetos de construção.
 - 3) A informação ao ser introduzida manualmente (escrita) está exposta a erro humano. Estes tipos de erros aumentam quando o responsável negligencia todo o processo ao considerar que existem tarefas de maior grau de importância, a cuja execução dá prioridade. A elevada quantidade de documentos existentes no escritório de obra leva a que frequentemente sejam enviados os documentos errados.
 - 4) Devido à elevada quantidade de documentos existentes e a sistemas de arquivo rudimentares (dossiers de arquivo), os documentos são armazenados inadequadamente. Como consequência, a procura de informação é uma tarefa morosa e pouco eficaz.

- 5) Mais uma vez, a inexistência de informação visual condiciona a interpretação dos intervenientes. Além do mais, a informação relevante para uma determinada ocorrência não é facilmente consultada por se encontrar maioritariamente no local de obra.
- 6) A inflexibilidade de todo o processo e a obrigação de registar todas as atividades não permitem uma resolução atempada.
- 7) Devido à elevada carga de trabalho, as medidas corretivas poderão ser negligenciadas por forma a não comprometer os prazos contratuais. Aquando da transformação de informação escrita em gráfica, esta encontra-se sempre sujeita a interpretação individual dos sujeitos.
- 8) Devido aos inúmeros documentos em formato papel e suas respetivas revisões, nem sempre serem mantidos nos seus arquivos próprios. Por exemplo, um desenho de arquitetura poderá estar colocado juntamente com o projeto de estruturas.
- 9) *Idem.*
- 10) Ineficaz comunicação entre os diversos intervenientes de diferentes especialidades, resultante de meios de comunicação correntes que se baseiam quase exclusivamente em documentos de papel. Os intervenientes ao interpretar informação escrita ou bidimensional criam os seus próprios modelos mentais como resposta à informação apresentada. Assim, a interpretação da informação partilhada durante o processo está dependente da formação dos intervenientes, provocando falhas de comunicação e transmissão de informação incorreta.

6.2. Processo de GNC baseado na plataforma C-BIM-thru-AR

Nesta secção é apresentado como é gerida uma NC detetada durante um projeto de construção, com recurso à plataforma proposta. Todo o processo encontra-se representado na Figura 6.2. Será em seguida descrito o modo como a utilização da plataforma permite a eliminação dos erros apresentados na secção anterior.

- O cenário para a resolução de uma NC será o seguinte:

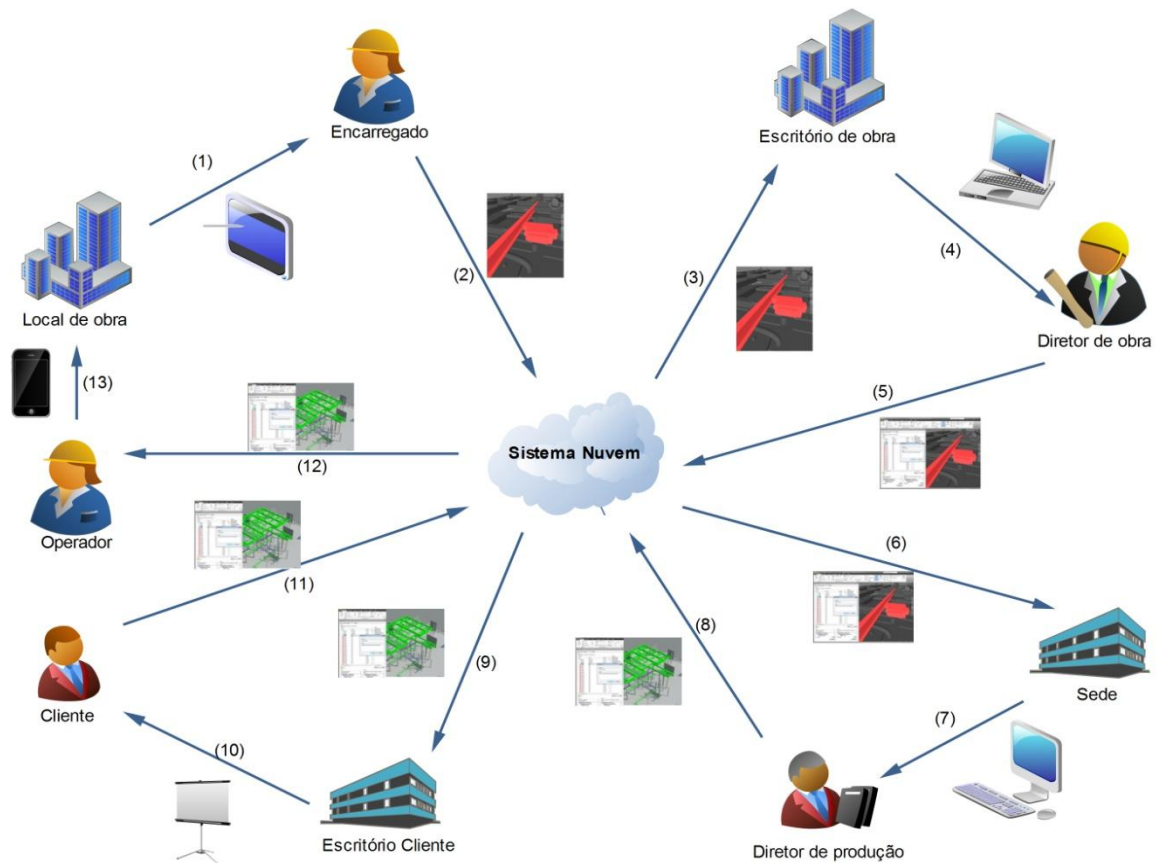


Figura 6.2 – Processo de resolução de uma NC com recurso à plataforma C-BIM-thru-AR

- 1) O Encarregado deteta uma NC com recurso à utilização da função Supervisão da interface C-BIM *Supervisor* ao sobrepôr o modelo virtual sobre a sua vista real, como representado na Figura 6.3.



Figura 6.3 – Interface C-BIM *Supervisor* a desempenhar função de Supervisão

- 2) Assim que o realizado não corresponder ao previsto, o Encarregado inicia a reconstrução do elemento não conforme, criando assim o correspondente elemento virtual e regista as coordenadas geográficas do elemento. Finda a recolha de dados, anexa-os a uma notificação de NC e envia-a para a base de dados da plataforma. A Figura 6.4 representa o modo como a plataforma através do seu sistema de reconstrução virtual permite recolher dados de obra.

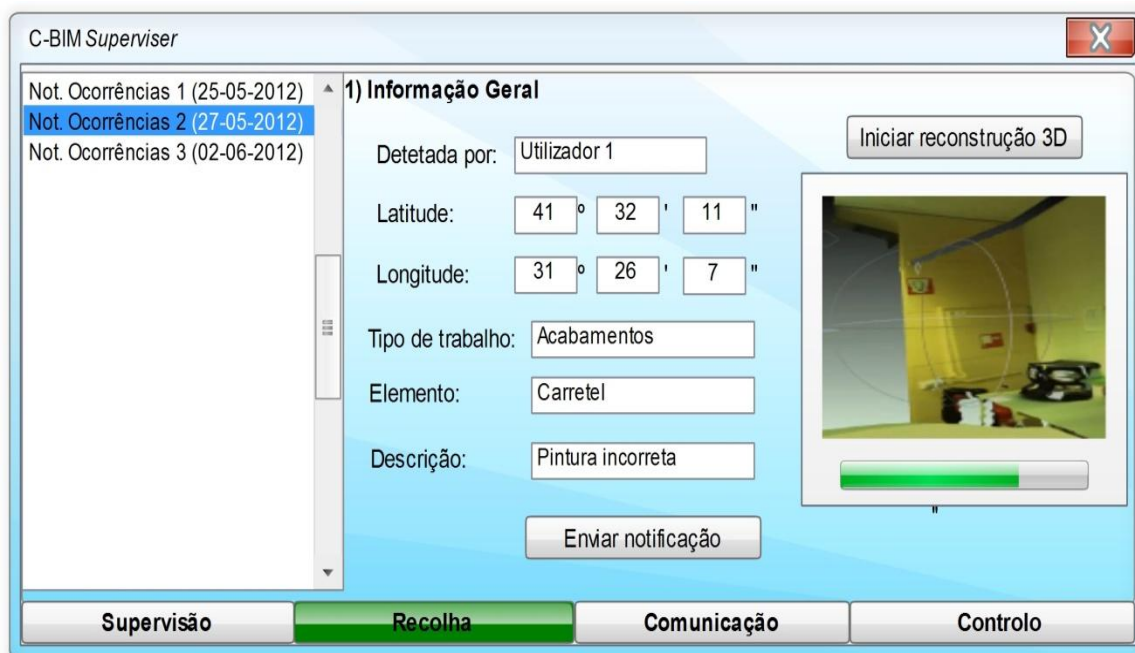


Figura 6.4 – Interface C-BIM *Supervisor* a recolher informação digital do local de obra

- 3) Assim que a notificação é descarregada na base de dados, o Diretor de Obra é notificado pela interface C-BIM *Manager (Obra)*, como tendo uma potencial NC por resolver. A Figura 6.5 demonstra a primeira interação do Diretor de Obra com a notificação enviada de obra.



Figura 6.5 – Receção da notificação de ocorrência através da interface C-BIM *Manager*

- 4) O Diretor de Obra através da função Avaliação associa o elemento virtual a um marcador e projeta-o sobre a sua vista real. Avalia assim a existência ou não de uma NC. A Figura 6.6 mostra a interação dos utilizadores com os modelos virtuais no escritório de obra.

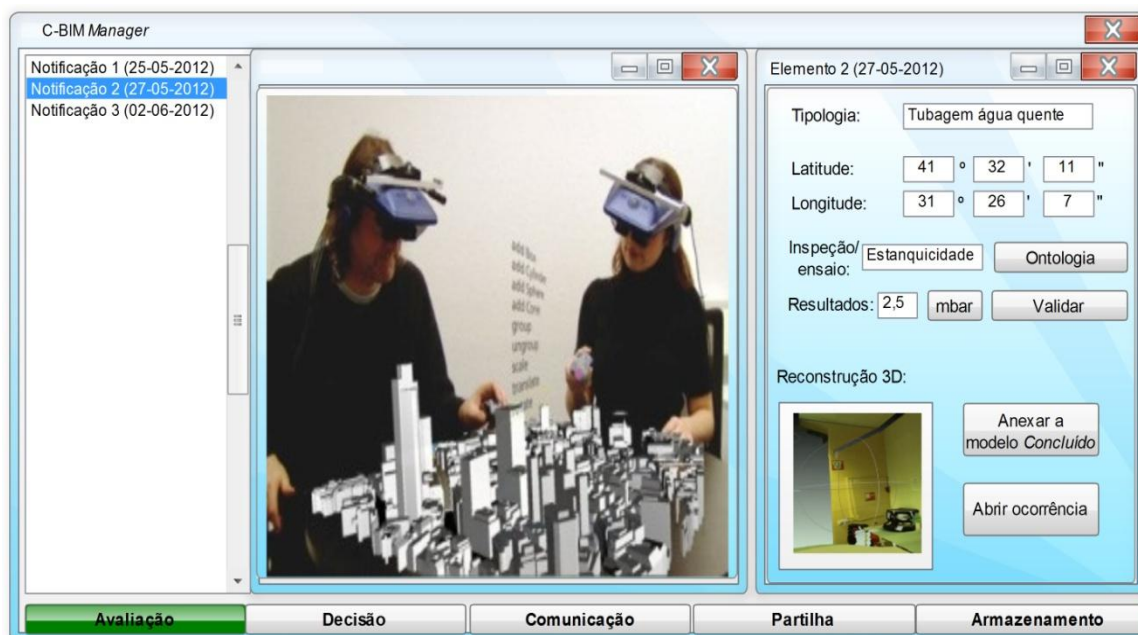


Figura 6.6 – Função de avaliação da interface C-BIM *Manager*

- 5) Com a confirmação da NC, o Diretor de Obra abre a ocorrência ao transformar a notificação em um relatório de ocorrência e anexando-o ao modelo *Ocorrências*. Em segui-

da, é enviada uma notificação para a sede a alertar a ocorrência de uma NC, pendente de resolução. A Figura 6.7 representa a primeira fase de um relatório de ocorrência.

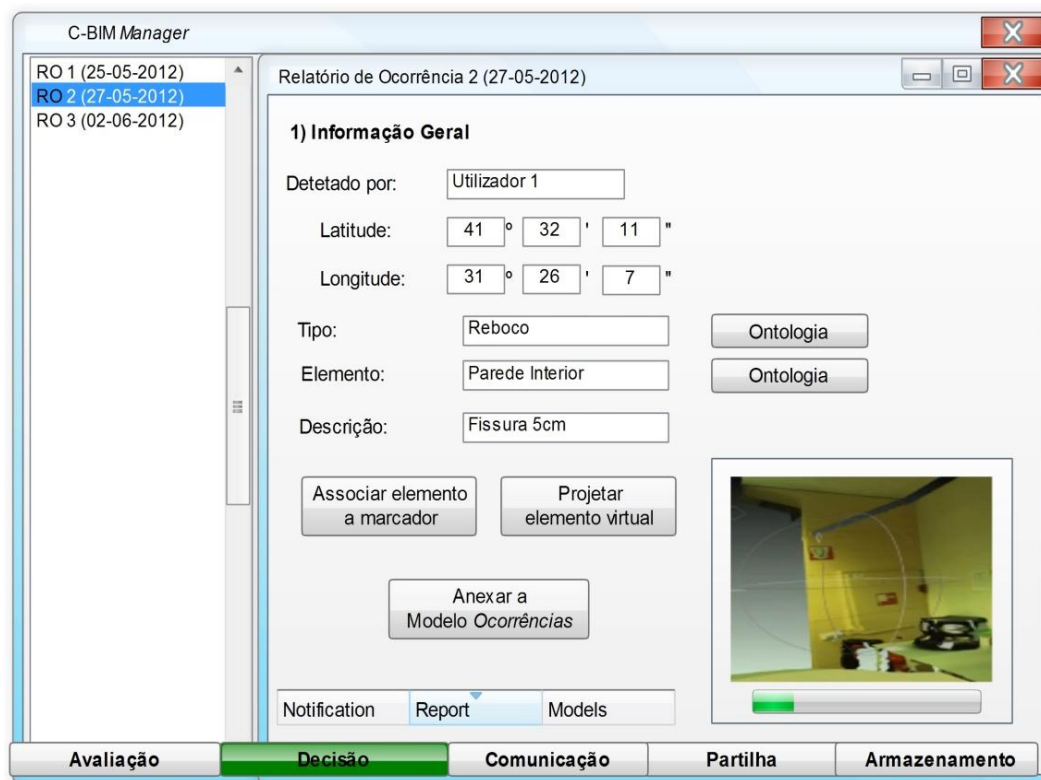


Figura 6.7 – Primeira fase de um relatório de ocorrência

- 6) Assim que o Relatório de Ocorrência é descarregado na base de dados, o Diretor de Produção é notificado pela interface *C-BIM Manager (Sede)*, como tendo uma NC identificada, pendente da identificação das causas para a sua ocorrência e da medida corretiva apropriada para a sua eliminação. O Diretor de Produção e o Gestor de Qualidade avaliam em conjunto as possíveis causas da NC através da função Avaliação da interface *C-BIM Manager (Sede)*. Ao projetar os modelos virtuais sobre a sua vista real, tem a possibilidade de manipular interactivamente os modelos, por forma a decidir quais as causas da ocorrência, como representado na Figura 6.8. Com a função Decisão acrescentam as causas da NC ao Relatório de Ocorrência.

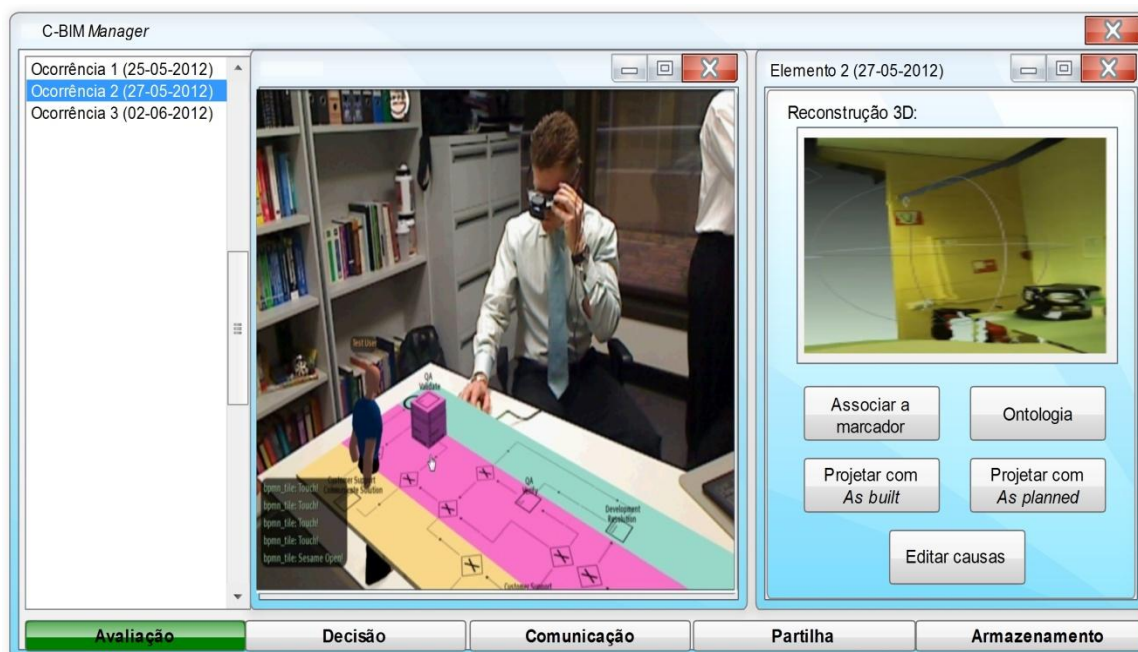


Figura 6.8 – Manipulação interativa dos modelos através da interface *C-BIM Manager*

- 7) Com o auxílio da função Armazenamento, tem-se a possibilidade de consultar NC semelhantes ocorridas em outros projetos, podendo-se avaliar a eficácia das medidas corretivas então escolhidas. A Figura 6.9 mostra como os utilizadores interagem com a função de Armazenamento.

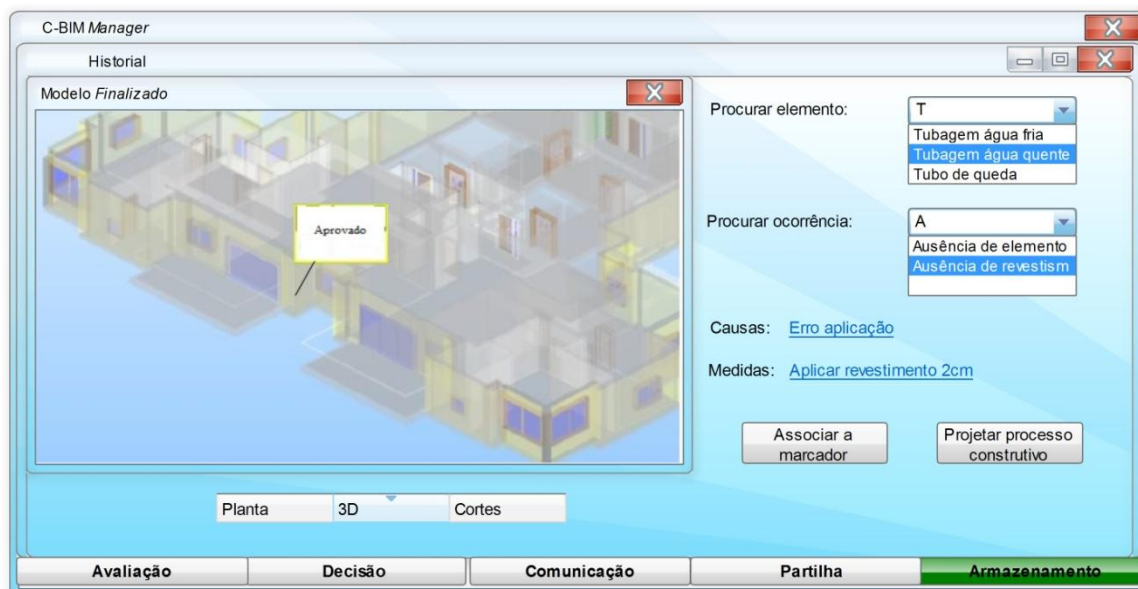


Figura 6.9 – Consulta de medidas corretivas adotadas anteriormente

- 8) Com as medidas seleccionadas, o Relatório de Ocorrência é terminado com o acrescento das medidas através da função Decisão, como mostra a Figura 6.10. Com a função Comunicação da interface *C-BIM Manager (Sede)* o Relatório de Ocorrência com as

medidas é enviado para a base de dados acompanhado de um código de coloração por forma a definir a urgência da tomada das medidas.

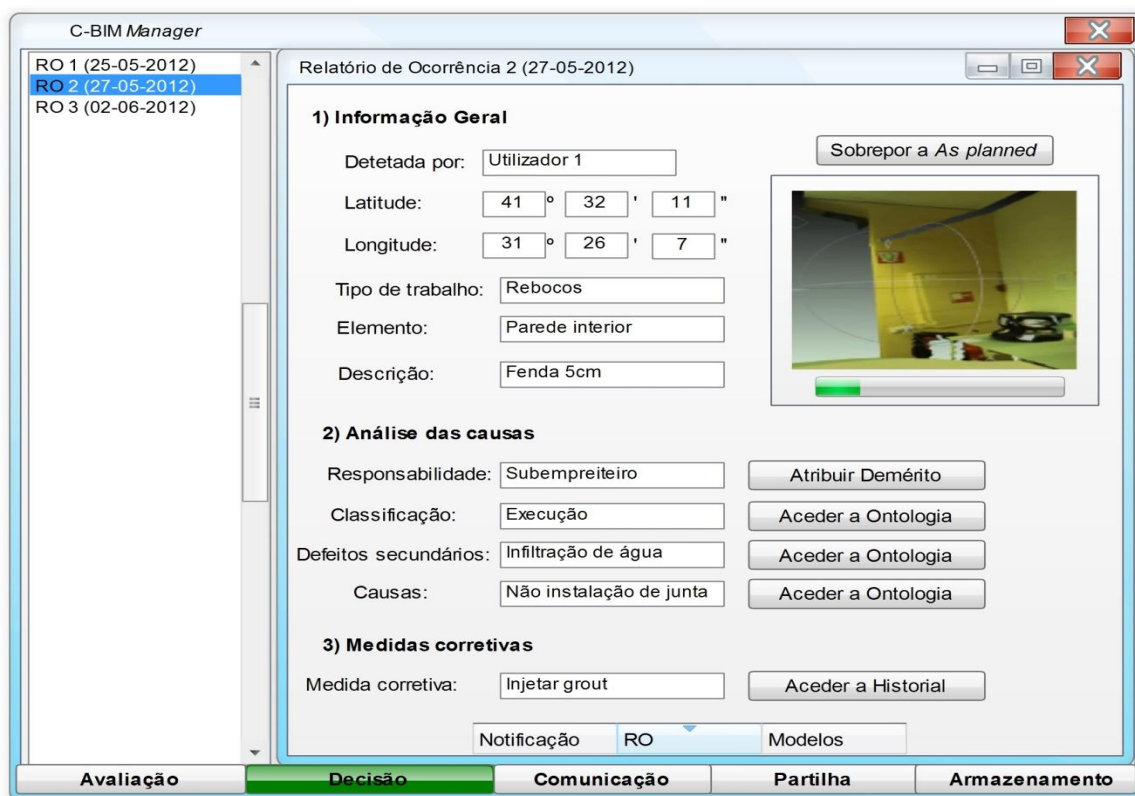


Figura 6.10 – Formato de um Relatório de Ocorrência

9) É enviada uma notificação para o Cliente a informar que se está a proceder as medidas corretivas ou de alterações de projeto.

10) A função Partilha da interface C-BIM Manager (Sede) permite partilhar os modelos virtuais com o Cliente por *video stream*, como demonstra a Figura 6.11.



Figura 6.11 – Interação com cliente através da interface C-BIM Manager

- 11) Com a aprovação do Cliente, os elementos virtuais aprovados são enviados para o correspondente modelo virtual. No caso dos elementos não se encontrarem de acordo com os padrões exigidos pelo Cliente, são anexados ao modelo Reclamações e é desencadeado de novo o processo para a resolução de uma NC. A Figura 6.12 demonstra como o cliente pode participar ativamente nas decisões tomadas.



Figura 6.12 – Participação interativa do cliente através da interface C-BIM Manager

- 12) Assim que as medidas se encontrem na base de dados, são disponibilizados ao Encarregado acompanhadas do pormenor virtual para a execução do trabalho. O Encarregado partilha a informação com a respetiva equipa de trabalho, como demonstra a Figura 6.13.



Figura 6.13 – Medidas apresentadas em obra através da interface C-BIM Supervisor

- **Eliminação dos erros verificados no processo de GNC tradicional**

- 1) Ao sobrepor o modelo virtual *As planned* sobre a sua vista real, o Encarregado possui uma ferramenta digital capaz de identificar claramente NC ocorridas. Com a funcionalidade de reconstrução virtual dos elementos e com a capacidade de anexar coordenadas geográficas exatas, através do sistema de rastreamento da plataforma, elimina potenciais erros de introdução de dados.
- 2) Ao enviar notificações sempre que é elaborada uma notificação de NC, é possível manter um registo da situação atual das NC, impedindo que estas sejam negligenciadas.
- 3) O Diretor de Obra é imediatamente notificado da ocorrência de NC, logo poderá desencadear o processo para a sua eliminação atempadamente. Isto permite aumentar a rapidez da resolução do processo de GNC.
- 4) Com a interface C-BIM *Manager* o Diretor de Obra possui uma ferramenta eficaz para processar os dados recolhidos em obra, podendo-os associar sempre a uma componente visual (elementos reconstruídos virtualmente). Além disso, pode visualizar os diferentes modelos virtuais sobre a sua vista real. Isto permite uma manipulação interativa dos modelos permitindo uma análise e tomada de decisões eficaz. Esta característica permite eliminar as interpretações de informação consoante a formação do interveniente.
- 5) Ao enviar notificações sempre que é elaborada um Relatório de Ocorrência, é mantido um registo do progresso das ocorrências.
- 6) O Diretor de Produção e o Gestor de Qualidade veem a sua capacidade de decisão aumentada devido à possibilidade de observarem os modelos virtuais com toda a informação relevante anexada digitalmente, diretamente sobre a sua vista real. Isto permite uma melhor perceção dos impactos das NC ocorridas, das suas possíveis causas e das respetivas medidas corretivas. Para além disso, a plataforma permite uma consulta de toda a informação de NC ocorridas em projetos anteriores, incluindo a eficácia das medidas corretivas aplicadas para a sua eliminação. Assim, o tempo de resposta dos intervenientes do processo é melhorado.
- 7) A manipulação interativa dos modelos virtuais através da RA permite transmitir claramente aos trabalhadores em obra quais os elementos a serem intervencionados e como devem ser intervencionados.
- 8) O Cliente tem a possibilidade de acompanhar o progresso da obra, independentemente da sua localização geográfica. Além disso, toda a informação é apresentada ao Cliente como informação digital ou visual, eliminando interpretações incorretas. Isto permite que o Cliente possa intervir ativamente na tomada de decisões.
- 9) *Idem*
- 10) *Idem*

- 11) Além do Cliente participar ativamente na tomada de decisões, a funcionalidade *video stream* poderá diminuir o tempo de resolução de uma NC.
- 12) Ao disponibilizar informação digital e visual aos trabalhadores em obra, estes em caso de dúvida, podem consultar atempadamente instruções, pormenores ou processos construtivos sobrepondo-a sobre a sua vista real. Esta característica permite evitar erros sucessivos de execução. Além do mais, devido à sua componente visual, a informação partilhada não está sujeita a interpretações incorretas.

6.3. Melhorias obtidas através da plataforma proposta

Na presente secção apresenta-se um quadro (Quadro 6.1) com os benefícios trazidos pela utilização da plataforma para a GNC. Na primeira coluna do Quadro 6.1 encontram-se os potenciais benefícios impostos pela implementação de SGQ nos processos construtivos, identificados no capítulo 2 (subsecção 2.1.3). Na coluna intermédia, descreve-se a capacidade ou sua ausência dos SGQ tradicionais proporcionarem os referidos benefícios. Na última coluna, é descrito o modo como a plataforma melhora os atuais SGQ para obter tais benefícios.

Quadro 6.1 – Quadro comparativo dos processos

	Tradicional	C-BIM-thru-AR
Melhoria dos processos	Prevê melhoria de processos mas apresenta dificuldades na sua implementação	A qualidade da recolha e processamento, e o armazenamento de dados fornece meios para uma análise contínua
Abordagem factual à tomada de decisões	Utiliza ferramentas rudimentares de levantamento e análise de dados, com possibilidade de fornecer dados incorretos	Dados fidedignos e disponibilizados em tempo útil. Perceção completa do estado da obra
Satisfação dos intervenientes	É considerada uma atividade sem valor pelos intervenientes	Partilha de dados e progresso da obra interativa permite uma melhor perceção das atividades dos intervenientes
Aumento da eficiência dos processos	Descreve exaustivamente o funcionamento dos processos e prevê medidas para combater problemas específicos	O modo de funcionamento das suas interfaces foi desenvolvido por forma a auxiliarem necessidades específicas de cada tarefa do processo
Melhor planeamento	Prevê soluções para situações problemáticas, contudo a sua documentação é excessivamente complexa	Ao visualizar os modelos virtuais e manipulá-los interactivamente, o impacto das decisões no decorrer da obra é mais perceptível
Melhoria continuada	A má organização dos documentos faz com que sejam negligenciados pelos intervenientes, logo não se evitam erros recorrentes	Identifica semelhanças entre projetos através das suas bases de dados interligadas. Permite evitar erros recorrentes
Moral dos colaboradores	Define claramente funções e responsabilidades, mas devido à dimensão do sistema pode causar alguma confusão	Através do seu mecanismo de acesso só permite aceder a funções e responsabilidades consoante o nível de autorização do colaborador
Relações com subcontratados	O sistema de avaliação de subcontratados está bem definido mas pobremente implementado	Os subcontratados possuem uma melhor perceção da avaliação da sua performance devido a atualizações constantes dos cadastros e por ser mantido um registo visual das NC,
Controlo de documentação	Os documentos adicionais requeridos pelo SGQ prejudicam a já má organização da documentação	Todos os documentos estão associados a tarefas específicas e são automaticamente armazenados em bases de dados interligadas, facilmente acedidas

7. CONCLUSÕES

Os SGQ têm sido implementados nas PME da IC de um modo lento e pouco eficaz. A elevada burocracia, os seus custos administrativos associados e a ineficaz gestão de toda a informação produzida durante os processos da IC, foram identificadas como as principais causas a tornar a sua implementação ineficiente. Particularmente, o processo de GNC ao depender fortemente da gestão de elevada quantidade de informação, é afetado pela ineficiente implementação dos SGQ tradicionais. O trabalho desenvolvido teve por objetivo contribuir para a definição de uma plataforma concetual que apoie a inversão desta situação através da melhoria dos meios comunicativos e de partilha de informação ao integrar o BIM através da RA nos processos incluídos na GNC.

Por forma a dotar a plataforma das capacidades necessárias, primeiro foi realizada uma revisão literária e tecnológica, de modo a compreender as capacidades e características dos sistemas de RA e as suas interações com o BIM. Em seguida, foi acompanhado e analisado um caso de estudo que permitiu identificar claramente as deficiências e lacunas da implementação de um SGQ no processo de GNC. A análise do caso de estudo permitiu a definição dos requisitos funcionais necessários para a plataforma proposta ter a capacidade de eliminar as deficiências e lacunas identificadas. Com os requisitos claramente identificados, a plataforma foi construída baseando os seus meios comunicativos em sistemas de RA e os seus meios de partilha de informação em modelos BIM. Por último, identificaram-se os potenciais benefícios conseguidos para o processo de GNC pela integração da plataforma nos atuais SGQ.

7.1. Resposta à questão central de investigação

Os objetivos delineados no início do estudo, sendo cumpridos, permitiriam a resposta à questão central de investigação. Assim, os objetivos foram cumpridos do seguinte modo:

- As capacidades, limitações e interações entre BIM e RA foram identificadas através da revisão da literatura;
- As deficiências e lacunas de SGQ implementados no processo de GNC foram identificadas. As entrevistas realizadas e a análise dos mapas IDEF0 - apresentados no capítulo 4 – revelaram-se essenciais para o cumprimento deste objetivo;
- Além dos mapas IDEF0 formarem uma boa base para definição de requisitos funcionais (Kassem *et al.*, 2011), as entrevistas aos intervenientes do processo revelaram quais as suas necessidades profissionais. Assim, os requisitos funcionais definidos para eliminar as deficiências e lacunas dos SGQ são:
 - Dados uniformizados;
 - Documentos padronizados;

- Canais de comunicação interativos;
- Ferramentas de recolha e partilha de dados em tempo real.
- Com os requisitos definidos e as capacidades do BIM e RA em promoverem esses requisitos, foi possível estabelecer uma estratégia para integração da plataforma nos processos da GNC.

Deste modo foi possível responder à questão central de investigação:

- Os requisitos funcionais responsáveis por tornar a informação produzida durante o processo de GNC imune a erros de interpretação (visto ser apresentada com uma componente visual) e disponibilizada permanentemente aos intervenientes do processo, são as ferramentas de recolha e partilha de dados em tempo real e os meios de comunicação interativos. Além disso, permitem que a informação recolhida em obra seja facilmente processada pelos responsáveis presentes em ambientes de escritório. Permitem também que as instruções entregues aos trabalhadores em obra sejam apresentadas de uma forma clara e inequívoca. Os requisitos responsáveis por garantir um fácil registo de toda a informação produzida durante o processo, diminuindo a burocracia e facilitando o cumprimento das exigências da norma ISO 9001, são dados uniformizados e documentos padronizados

7.2. Contribuições do estudo

O presente estudo permitiu considerar a integração dos modelos BIM e dos sistemas de RA como elementos constituintes dos SGQ das empresas de construção.

7.2.1. Contribuições a nível académico

Com base na revisão bibliográfica e tecnológica efetuada no decorrer do estudo, ficou assente que a incorporação de modelos BIM no processo GNC, através de sistemas de RA, pode beneficiar os atuais SGQ. Deste modo, foi elaborada uma estratégia que permitiu definir como estas ferramentas podem ser implementadas em um processo específico da gestão de produção - GNC. Foram claramente identificados quais as necessidades do processo de GNC e como essas necessidades seriam satisfeitas através da plataforma proposta. Enquanto os modelos BIM - e suas listas associadas – funcionam como base para sustentar toda a informação produzida durante o processo, os sistemas de RA são responsáveis por recolher informação digital e apresentá-la interativamente sobre a vista real dos utilizadores. Assim, considera-se que as lacunas identificadas no capítulo 1 são preenchidas do seguinte modo:

- Ao dotar os SGQ de ferramentas tecnológicas capazes de uma gestão mais eficaz dos documentos exigidos pela norma ISO 9001 prevê-se uma diminuição na burocracia. Assim, a plataforma poderá contribuir para uma implementação mais eficaz dos SGQ;

- No seu molde atual, a plataforma proposta fornecerá ferramentas capazes de uma comunicação e partilha de informação interativa. Isto será alcançado através da projeção de informação digital (modelos BIM) sobre a vista real dos utilizadores (sistemas de RA), independentemente da localização geográfica dos utilizadores (função de *video stream* da plataforma);
- A incorporação de sistemas de RA e de sistemas nuvem na plataforma proposta permitirá expandir a utilização do BIM de ambientes de escritório para locais de obra. Assim, toda a informação contida nos modelos BIM será disponibilizada facilmente aos trabalhadores presentes no local de obra;
- A inclusão de processos e formatos de documentos já utilizados pelas empresas no modo de funcionamento pretendido para as interfaces, permitirá aos utilizadores utilizarem todas as funções da plataforma sem necessidade de formação qualificada. Além do mais, agregar toda a informação necessária para um trabalhador desempenhar a sua função em um único dispositivo facilitará o trabalho do utilizador. Com isto, perspectiva-se uma aceitação generalizada por parte dos intervenientes dos processos da construção.

7.2.2. Contribuições para os profissionais da indústria

É exetável que a utilização da plataforma como braço tecnológico dos SGQ forneça aos intervenientes do processo de GNC em obra meios mais eficazes para a recolha e partilha de dados, e disponibilize aos intervenientes em ambientes de escritório meios eficazes e interativos para o processamento da informação vinda de obra. Acredita-se que a plataforma ao proporcionar estes meios melhorará a produtividade do atual processo de GNC, aumentará a confiança dos intervenientes em relação aos SGQ e estreitará as relações profissionais dos participantes do processo. Em relação aos intervenientes do processo de GNC, a plataforma foi desenvolvida de modo a responder às necessidades profissionais dos intervenientes do processo. Deste modo, um dos seus contributos é proporcionar aos diretores de obra maior liberdade para acompanharem o progresso de obra, sem estarem confinados durante excessivos períodos de tempo ao escritório de obra. Ao fornecer meios comunicativos eficientes (toda a informação do processo é anexada a modelos BIM disponibilizados em qualquer local através da RA) e devido à sua extensa base de dados, a plataforma permite aos diretores de obra consultarem, elaborarem e partilharem informação diretamente do local de obra, sem a necessidade de se deslocarem ao escritório de obra.

Outro dos contributos da plataforma foi responder à falta de ferramentas tecnológicas disponibilizadas aos intervenientes presentes no local de obra. A informação ao ser partilhada através do sistema nuvem e disponibilizada em dispositivos portáteis (*smartphones, tablets*) possibilita a criação de um fluxo bidirecional de informação entre os intervenientes no local de obra e os responsáveis em sede. Assim, através da projeção dos modelos BIM com recurso aos sistemas de

RA, a plataforma possibilita aos intervenientes em obra terem uma clara noção das instruções dadas. Por exemplo, através da projeção do modelo *Correções* em obra, os intervenientes podem consultar informação digital (pormenorizações, datas de início, materiais a utilizar, etc.) sobre as medidas corretivas a serem implementadas, diretamente sobre a sua vista real.

Por último, os intervenientes do processo de GNC que se encontram em ambiente de escritório nas sedes das empresas (diretor de produção e gestor de qualidade), veem as suas capacidades para a tomada de decisões aumentadas através de ferramentas de análise de dados fornecidas pela plataforma. A plataforma ao possuir a capacidade de reconstruir virtualmente os elementos construtivos proporciona aos responsáveis em sede dados fidedignos da obra e uma percepção clara do seu progresso – ao contrário dos métodos tradicionais baseados em diagramas de *gantt* e autos de medições. Por exemplo, estes intervenientes ao analisarem um determinado elemento não conforme, podem consultar qual o impacto que as respetivas medidas corretivas poderão trazer a trabalhos já concluídos. Além disto, através de visitas virtuais ao empreendimento o cliente tem a possibilidade de acompanhar regularmente o progresso da obra e participar ativamente nas decisões tomadas.

De um modo geral, a implementação da plataforma C-BIM-*thru*-AR no processo de GNC contribui para uma melhor gestão de toda a informação e documentação produzida durante o processo. A sua base de dados gere e organiza todos os documentos produzidos, enquanto os seus canais comunicativos - baseados em sistemas de RA - proporcionam uma partilha de dados e informação correta, de acordo com a realidade corrente da obra.

7.3. Limitações do estudo

Um número significativo de aplicações de software e diferentes formatos de documentos incorporam a plataforma C-BIM-*thru*-AR. Isto levanta questões relacionadas com a interoperabilidade dos vários constituintes da plataforma, que terão de ser resolvidos antes da implementação da mesma. Interligar todos os diferentes formatos de documentos e bases de dados poderá ser desafiante. Uma estratégia capaz de responder a estas questões implica a utilização de fontes de dados do tipo *Industry Foundation Classes* (IFC) por parte das aplicações de software no processamento dos seus dados e/ou documentos, possibilitando a sua incorporação na plataforma de uma forma acessível.

Outra das questões a ultrapassar relaciona-se com os potenciais problemas de propriedade intelectual levantados pela utilização de algumas aplicações patenteadas na estrutura da plataforma. A plataforma utiliza aplicações para a reconstrução virtual 3D, para visualização dos modelos virtuais e para adição de informação digital.

Além disso, o sistema de rastreamento (GPS) considerado para o módulo C-BIM *Supervisor* não fornece uma precisão milimétrica e possui alguns problemas de rastreamento em ambientes interiores (mais comum em estruturas subterrâneas). Hammad (2004) revê as diversas tecno-

logias de rastreamento existentes e as suas respectivas precisões. Este autor considerou que a utilização de sistemas híbridos poderá alcançar as desejadas precisões em ambientes interiores. Ao utilizar medições fornecidas por diferentes sensores, os sistemas híbridos permitem compensar as falhas de cada tecnologia, quando utilizadas individualmente. Medir as posições do utilizador através de *differential* GPS e a orientação através de bússolas digitais, revela-se um sistema híbrido promissor para a resolução dos problemas de rastreamento persistentes. A integração das diferentes medições das tecnologias é efetuada através da utilização de um filtro Kalman, que executa a homogeneização de dados (Hammad *et al.*, 2004) (You e Neumann, 2001).

O custo da implementação de novas ferramentas de TIC pode também ser visto como um obstáculo, nomeadamente se uma empresa tiver realizado um investimento recente em outras tecnologias. Uma análise de custo/benefício compreensiva terá de ser efetuada, considerando o ROI esperado de investimentos anteriores e os benefícios expetáveis da implementação da plataforma proposta. Isto é particularmente desafiante pois é difícil quantificar os benefícios da melhoria da comunicação e das relações profissionais experimentadas pelos trabalhadores em obra. Uma análise de custo/benefício de novos modos de executar trabalhos são sempre difíceis de realizar, visto ter-se de comparar algo conhecido e experimentado com algo que será conhecido. Isto revela-se particularmente em projetos de aplicações de *software*.

Outro aspeto fundamental que tem de ser garantido é a aderência do cliente à plataforma e ao seu *modus operandi*. No entanto, pelo facto da plataforma C-BIM-*thru*-AR não obrigar à aquisição de tecnologia específica – só necessita de aplicações convencionais capazes de realizar *live stream* – pode facilitar a aderência do cliente, pois os benefícios da plataforma serão disponibilizados ao cliente sem custos adicionais.

7.4. Propostas para estudos futuros

Devido à natureza conceptual do presente estudo, o desempenho da plataforma deverá ser verificada através do desenvolvimento de um protótipo a ser utilizado nos ambientes de obra e de escritório. Além do mais, o presente estudo incidiu sobre um processo específico da gestão de produção. Assim, com base no estudo desenvolvido e na sua abrangência, podem ser considerados outros estudos a desenvolver no futuro, destacando:

- Construção de um protótipo baseado na plataforma proposta;
- Implementação da plataforma em um caso de estudo em obra, monitorizando o seu desempenho e avaliação dos resultados obtidos da sua implementação;
- Adaptação da plataforma a outros processos da gestão da produção.

Todas as propostas para desenvolvimento futuro têm como objetivo eliminar os problemas crónicos evidenciados pela IC, melhorando a sua produtividade.

8. BIBLIOGRAFIA

ABDUH, M. e SKIBNIEWSKI, M. - *electronic networking technologies in construction*. Journal of Construction Research, vol. 05, nº 01, págs. 17-42. 2004.

ABDUL-RAHMAN, H. - *The cost of non-conformance during a highway project: a case study*. Construction Management and Economics, vol. 13, nº 1, págs. 23-32. 1995.

ABUDAYYEH, O.; TEMEL, B.; AL-TABTABAI, H. e HURLEY, B. - *An Intranet-based cost control system*. Advances in Engineering Software, vol. 32, nº 2, págs. 87-94. 2001.

AHMAD, I.; RUSSELL, J. e ABOU-ZEID, A. - *Information technology (IT) and integration in the construction industry*. Construction Management and Economics, vol. 13, nº 2, págs. 163-171. 1995.

AHMED, S.; AOIEONG, R.; TANG, S. L. e ZHENG, D. - *A comparison of quality management systems in the construction industries of Hong Kong and the USA*. International Journal of Quality and Reliability Management, vol. 22, págs. 149-161. 2005.

ALSHAWI, M. e INGIRIGE, B. - *Web-enabled project management: an emerging paradigm in construction*. Automation in Construction, vol. 12, nº 4, págs. 349-364. 2003.

ALWI, S.; KEITH, H. e SHERIF, M. - *Effect of quality supervision on rework in the Indonesian context*. Asia Pacific Building and Construction Management Journal, vol. 6, págs. 2-6. 2001.

ANTONIAK, P. e PULLI, P. - *Marisil–mobile user interface framework for virtual enterprise*. In : ICCE'01: Proc. 7th Int Conf. Concurrent Enterprising, pp. 171–180, Bremen 2001.

AOUAD, G.; LEE, A. e WU, S. - *Constructing the future: nD modelling.*, Taylor & Francis, 2006.

ARMBRUST, M.; FOX, A.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A.; KATZ, R.; KONWINSKI, A.; LEE, G.; PATTERSON, D.; RABKIN, A.; STOICA, I. e ZAHARIA, M. - *A view of cloud computing*. Commun. ACM, vol. 53, nº 4, págs. 50-58. ACM, 2010.

- *Autodesk Revit Architecture*. Render Blog, 2011. <http://blog.render.com.br/diversos/autodesk-revit-architettura/> (14/Fevereiro/2013).

AZHAR, S.; NADEEM, A.; MOK, J. e LEUNG, B. - *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*. In : First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I)“Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice”, Karachi, Pakistan 2008.

AZUMA, R.; LEE, J.; JIANG, B.; PARK, J.; PARK, J.; YOU, S. e NEUMANN, U. - *Tracking in Unprepared Environments for Augmented Reality Systems*. Computers & Graphics, vol. 23, págs. 787-793. 1999.

AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S. e MCINTYRE, B. - *Recent Advances in Augmented Reality*. In : IEEE Computer Graphics & Applications 21(6): 34-47. 2001.

AZUMA, R. - *A Survey of Augmented Reality*. In : Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355-385. 1997.

BARBER, P.; GRAVES, A.; M., H.; SHEATH, D. e TOMKINS, C. - *Quality failure costs in civil engineering projects*. International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 17, págs. 479-492. 2000.

BARRETT, P. - *Systems and relationships for construction quality*. International Journal of Quality Reliability Management, vol. 17, págs. 377-392. 2000.

BATEMAN, T. S. e SNELL, S. A. - *Management: Building Competitive Advantage, 4th edition.*, McGraw-Hill, 1999.

BEHRINGER, R.; TAM, C.; MCGEE, J.; SUNDARESWARAN, S. e VASSILIOU, M. - *A wearable augmented reality testbed for navigation and control, built solely with commercial-off-the-shelf (COTS) hardware*. In : Augmented Reality, 2000. (ISAR 2000). Proceedings. IEEE and ACM International Symposium on, pp.12-19. 2000.

BEHZADAN, A. e KAMAT, V. - *Visualization of construction graphics in outdoor augmented reality*. In : Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds. 2005.

BOWEN, R. - *Looking for Gaps: Walking Through a Sample Analysis*. Bright Hub PM, 2011. http://www.brighthubpm.com/methods-strategies/76008-looking-for-gaps-walking-through-a-sample-analysis/#imgn_1 (02/Março/2013).

BROEKMAAT, M. - *The 5D BIM Connection to Estimating*. VICO software, s/d. http://www.vicosoftware.com/Blogs/Vicos_Flying_Dutchman/tabid/47083/Default.aspx?Tag=cost+plan (14/Fevereiro/2013).

BROOKS, F. - *What's Real About Virtual Reality?* IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 19, nº 6, págs. 16-27. IEEE Computer Society Press, 1999.

BURATI, J.; FARRINGTON, J. e LEDBETTER, W. - *Causes of Quality Deviations in Design and Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 118, nº 1, págs. 34-49. 1992.

CACHADINHA, N. - *Implementing Quality Management Systems in Small and Medium Construction Companies: A Contribution to a Road Map for Success*. Leadership and Management in Engineering, vol. 9, nº 1, págs. 32-39. 2009.

CHELSON, D. - *The effects of building information modeling on construction site productivity*. Ph.D. dissertation., 2010.

COMPORT, A.; MARCHAND e CHAUMETTE, F. - *A real-time tracker for markerless augmented reality*. In : Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Washington, DC, USA, pp.36--. 2003.

DAWOOD, N.; AKINSOLA, A. e HOBBS, B. - *Development of automated communication of system for managing site information using internet technology*. Automation in Construction, vol. 11, n° 5, págs. 557-572. 2002.

DENGENIS, T. - *The 2012 Synchro Inaugural User Conference Leads to A New Level in the BIM Journey*. Planning Planet, 2012. <http://www.planningplanet.com/content/2012-synchro-inaugural-user-conference-leads-new-level-bim-journey> (14/Fevereiro/2013).

DISPENZA, K. - *The Daily Life of Building Information Modeling (BIM)*. Buildipedia, 2010. <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim> (14/Fevereiro/2013).

DISSANAYAKA, S.; KUMARASWAMY, M.; KARIM, K. e MAROSSZEKY, M. - *Evaluating outcomes from ISO 9000-certified quality systems of Hong Kong constructors*. Total Quality Management, vol. 12, págs. 29-40. 2001.

DOSSICK, C. e NEFF, G. - *Organizational Divisions in BIM-Enabled Commercial Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 136, n° 4, págs. 459-467. 2010.

DOZZI, S. P. e ABOURIZK, S. M. - *Productivity in Construction*. Tech. rep. Institute for Research in Construction, Ottawa, 1993.

DUFFETT, G. - *Augmented Reality: Visualization beyond BIM*. Blog Perkins Will, 2012. <http://blog.perkinswill.com/augmented-reality-visualization-beyond-bim/> (14/Fevereiro/2013).

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. - *Frontmatter*. Págs. i--xiv., John Wiley & Sons, Inc., 2008.

E-CORE - *E-CORE strategy for construction RTD. Final version*. European Construction Research Network, 2005. <http://www.e-core.org/strategy/> (20/Janeiro/2013).

ECTP - *Challenging and Changing Europe's Built Environment. A vision for a sustainable and competitive construction sector by 2030*. European Construction Technology Platform (ECTP), 2005. <http://www.ectp.org/> (20/Janeiro/2013).

EUROPEIA, C. - *A nova definição de PME: Guia do utilizador e modelo de declaração*. Tech. rep. Comissão Europeia, 2006.

EUROPEIA, C. - *Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises*. Tech. rep. Comissão Europeia, 2012.

FANIRAN, O.; LOVE, P. e LI, H. - *Optimal Allocation of Construction Planning Resources*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 125, nº 5, págs. 311-319. 1999.

FIATECH - *FIATECH.*, 2013. <http://www.fiatech.org> (28/Janeiro/2013).

FIEC - *Annual report*. European Construction Industry Federation (FIEC), 2013. <http://www.fiec.org> (20/Janeiro/2013).

FISCHER, M. e KUNZ, J. - *The Scope and Role of Information Technology in Construction*. Tech. rep. Center for integrated facility engineering, 2004.

GOLPARVAR-FARD, M.; STAUB-FRENCH, S.; PO, B. e TORY, M. - *Requirements for a mobile interactive workspace to support design development and coordination*. In : Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering 2006.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F. e SAVARESE, S. - *D4AR – a 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication*. Journal of Information Technology in Construction, vol. 14, págs. 129-153. 2009.

GOLPARVAR-FARD, M.; PENA-MORA, F.; ARBOLEDA, C. e LEE, S. - *Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs*. journal of computing in civil engineering, vol. 23,

HAMMAD, A.; GARRETT, J. e KARIMI, H. - *Location-Based Computing for Infrastructure Field Tasks*. 1st Edição. Págs. 287-314., CRC Press, 2004.

HEIDEMANN, G.; BEKEL, H.; BAX, I. e H., R. - *Interactive online learning*. Pattern Recognition and Image Analysis, vol. 15, págs. 55-58. 2005.

HEWAGE, K.; RUWANPURA, J. e JERGEAS, G. - *IT usage in Alberta's building construction projects: Current status and challenges*. Automation in Construction, vol. 17, nº 8, págs. 940-947. 2008.

HEWAGE, K. e RUWANPURA, J. - *Carpentry workers issues and efficiencies related to construction productivity in commercial construction projects in Alberta*. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 33, nº 8, págs. 1075-1089. 2006.

HÖLLERER, T. e FEINER, S. - *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services.*, Taylor & Francis Books Ltd., 2004.

HOU, L.; WANG, X. e TRUIJENS, M. - *Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation*. Journal of Computing in Civil Engineering, nº ja 2013.

HOWARD, H.; LEVITT, R.; PAULSON, B.; POHL, J. e TATUM, C. - *Computer Integration: Reducing Fragmentation in AEC Industry*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 3, nº 1, págs. 18-32. 1989.

HUANG, C.; FISHER, N. e BROYD, T. - *Development of a triangular TPC model to support adoption of construction integrated system*. In : Proc. ARCOM 18th Annual Conference, vol. 2, University of Northumbria, UK, pp. 427-438. 2002.

ISIKDAG, U. e UNDERWOOD, J. - *Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration*. Automation in Construction, vol. 19, nº 5, págs. 544-553. 2010.

JOSEPHSON, P.-E. e HAMMARLUND, Y. - *The causes and costs of defects in construction: A study of seven building projects*. Automation in Construction, vol. 8, nº 6, págs. 681-687. 1999.

KAMAT, V. e BEHZADAN, A. - *GPS and 3DOF Tracking for Georeferenced Registration of Construction Graphics in Outdoor Augmented Reality*. In : EG-ICE'06, pp.368-375. 2006.

KAPLAN, E. - *Understanding GPS: Principles and Applications.*, Artech House, 1996.

KASSEM, M.; DAWOOD, N. e MITCHELL, D. - *A structured Methodology for enterprise modelling: A case study for modelling the operation of a British organization*. Journal of Information Technology in Construction, vol. 16, págs. 381-410. 2011.

KIM, Y.; OH, S.; CHO, Y. e SEO, J. - *A PDA and wireless web-integrated system for quality inspection and defect management of apartment housing projects*. Automation in Construction, vol. 17, nº 2, págs. 163-179. 2008.

KOO, B. e FISCHER, M. - *Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 126, nº 4, págs. 251-260. 2000.

KREVELEN, D. W. F. e POELMAN, R. - *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*. The International Journal of Virtual Reality, vol. 9, págs. 1-20. 2010.

KWOK, W. - *A critical evaluation on the implementation of ISO 9000 in the building industry in Hong Kong*. Ph.D. dissertation., 1997.

LAWSON, S. e PRETLOVE, J. - *Augmented reality for underground pipe inspection and maintenance*. In : In Proceedings of SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Telem manipulator and Telepresence Technologies V, Boston, MA. 1998.

LEE, S. e PEÑA-MORA, F. - *Visualization of construction progress monitoring*. In : Proc., Joint Int. Conf. on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, ASCE, Reston, Va. 2006.

LEUNG, S.; MAK, S. e LEE, B. - *Using a real-time integrated communication system to monitor the progress and quality of construction works*. Automation in Construction, vol. 17, nº 6, págs. 749-757. 2008.

LISTON, K. M.; FISCHER, M. A. e KUNZ, J. C. - *Designing and evaluating visualization techniques for construction planning*. In : 8th International Conference on

Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-VIII), Stanford University, Stanford, CA, pp. 1293-300. 2000.

LOVE, P.; MACSPORRAN, C. e TUCKER, S. - *The application of information technology by Australian contractors: towards process re-engineering*. In : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) 1996.

LOVE, P. E. D.; WYATT, A. e MOHAMED, S. - *Understanding Rework in Construction*. In : International Conference on Construction Process Re-engineering, Gold Coast 1997.

LOVE, P.; IRANI, Z. e EDWARDS, D. J. - *A rework reduction model for construction projects*. Engineering Management, IEEE Transactions on, vol. 51, nº 4, págs. 426-440. 2004.

LOVE, P. D.; EDWARDS, D.; HAN, S. e GOH, Y. - *Design error reduction: toward the effective utilization of building information modeling*. Research in Engineering Design, vol. 22, nº 3, págs. 173-187. Springer-Verlag, 2011.

LOVE, P. - *Influence of Project Type and Procurement Method on Rework Costs in Building Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 128, nº 1, págs. 18-29. 2002.

LOVE, P. e IRANI, Z. - *A project management quality cost information system for the construction industry*. Information & Management , vol. 40, nº 7, págs. 649-661. 2003.

LOVE, P. e LI, H. - *Quantifying the causes and costs of rework in construction*. Construction Management and Economics, vol. 18, nº 4, págs. 479-490. 2000.

LOW, X. e YEO, H. - *A construction quality costs quantifying system for the building industry*. International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 15, págs. 329-349. 1998.

MCGRAW-HILL - *Building Information Modeling Trends SmartMarket Report*. Tech. rep. McGraw-Hill Construction, 2008.

MILGRAM, P. e KISHINO, F. - *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. IEICE Transactions on Information Systems, vol. E77-D, nº 12, págs. 1321-1329. 1994.

MILLS, A.; LOVE, P. e WILLIAMS, P. - *Defect Costs in Residential Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 135, nº 1, págs. 12-16. 2009.

MIT - *10 Emerging Technologies 2007 (Mobile Augmented Reality)*. Tech. rep. MIT, 2007.

NARZT, W.; POMBERGER, G.; FERSCHA, A.; KOLB, D.; MÜLLER, D.; WIEGHARDT, J.; HÖRTNER, H. e LINDINGER, C. - *Augmented reality navigation systems*. Universal Access in the Information Society, vol. 4, págs. 177-187. 2006.

NIST - *Integrated Definition for Function Modelling (IDEF0)*. Tech. rep. National Institute of Standards and Technology (NIST), 1993.

NYLÉN, K. - *Cost of failure in a major civil engineering project*. Master's thesis., 1996.

O'BRIEN, M. e AL-SOUFI, A. - *A survey of data communications in the UK construction industry*. Construction Management and Economics, vol. 12, n° 5, págs. 457-465. 1994.

PALANEESWARAN, E. - *Reducing rework to enhance project performance levels*. In : Proceedings of the one day seminar on recent developments in project management in Hong Kong 2006.

PARK, C.-S.; LEE, D.-Y.; KWON, O.-S. e WANG, X. - *A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template*. Automation in Construction, vol. 33, n° 0, págs. 61-71. 2013.

PEANSUPAP, V. e WALKER, D. - *Factors affecting ICT diffusion: A case study of three large Australian construction contractors*. Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 12 (1), págs. 21-37. 2005.

PENÃ-MORA, F. e DWIVEDI, G. - *Multiple Device Collaborative and Real Time Analysis System for Project Management in Civil Engineering*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 16, n° 1, págs. 23-38. 2002.

PENTTILÄ, H. - *Describing the changes in architectural information technology to design complexity and free form expression*. Journal of Information Technology in Construction, vol. 11, págs. 395-408. 2006.

PHENG, L. e WEE, D. - *Improving maintenance and reducing building defects through ISO 9000*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 7, págs. 6-24. 2001.

PIEKARSKI, W. e THOMAS, B. - *The Tinmith System -- Demonstrating New Techniques for Mobile Augmented Reality Modelling*. In : In Proceedings of 3rd Australasian User Interfaces Conference, Melbourne, Australia. 2002.

REDMOND, A.; HORE, A.; ALSHAWI, M. e WEST, R. - *Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud *

REKIMOTO, J. e SAITOH, M. - *Augmented surfaces: a spatially continuous work space for hybrid computing environments*. In : Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, pp.378-385. 1999.

ROBERTS, G.; EVANS, A.; DODSON, A.; DENBY, B.; COOPER, S. e HOLLANDS, R. - *The use of Augmented Reality, GPS and INS for subsurface data visualisation*. In : FIG XXII International Congress, TS5.13 Integration of Techniques, International Federation of Surveyors (FIG), Washington, D.C. 2002.

ROLLAND, J.; BAILLOT, Y. e GOON, A. - *A survey of tracking technology for virtual environments*. Tech. rep. Center for Research and Education in Optics and Lasers (CREOL) University of Central Florida, Orlando, 2001.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M. e BARAK, R. - *Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction*. Automation in Construction, vol. 19, n° 5, págs. 641-655. 2010.

SAKR, S.; LIU, A.; BATISTA, D. M. e ALOMARI, M. - *A Survey of Large Scale Data Management Approaches in Cloud Environments. Communications Surveys Tutorials, IEEE, vol. 13, n° 3, págs. 311-336. 2011.*

SHEN, H.; WALL, B.; ZAREMBA, M.; CHEN, Y. e BROWNE, J. - *Integration of business modelling methods for enterprise information system analysis and user requirements gathering. Computers in Industry, vol. 54, n° 3, págs. 307-323. 2004.*

SHIN, D.; JUNG, W. e DUNSTON, P. - *Camera constraint on multi-range calibration of augmented reality systems for construction sites. Virtual and Augmented Reality in Design and Construction, vol. 13, págs. 521-535. 2008.*

SHIN, D. e DUNSTON, P. - *Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. Automation in Construction, vol. 17, n° 7, págs. 882-894. 2008.*

SHIN, D. e JANG, W. S. - *Utilization of ubiquitous computing for construction *

SRIPRASERT, E. e DAWOOD, N. - *Lean Enterprise Web-based Information System for Construction (LEWIS): A Framework. In : International Council for Research and Innovation in Building and Construction Council for Research and Innovation in Building and Construction Working group 78 Conference, Aarhus School of Architecture 2002.*

SUTHERLAND, I. - *A head-mounted three dimensional display. In : Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I, New York, NY, USA, pp.757-764. 1968.*

TANG, S.; AHMED, S.; AOIEONG, R. e POON, S. - *Construction quality management., Condor Production Co. Ltd., Hong Kong, China, 2005.*

TAYLOR, J. e BERNSTEIN, P. - *Paradigm Trajectories of Building Information Modeling Practice in Project Networks. Journal of Management in Engineering, vol. 25, n° 2, págs. 69-76. 2009.*

THOMAS, B.; PIEKARSKI, W. e GUNTHER, B. - *Using Augmented Reality to visualise architecture design in an outdoor environment. In : Design Computing on the Net 1999.*

WACHIRA, I. N. - *Labour Management in Kenya. Tech. rep. Department of Building Economics and Management, University of Nairobi, 2001.*

WANG, X. - *Using Augmented Reality to plan virtual constructionworksites. International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 4 (4), págs. 501-512. 2007.*

WANG, L. C. - *Enhancing construction quality inspection and management using *

WANG, X. e LOVE, P. - *BIM + AR: Onsite Information Sharing and Communication via Advanced Visualization. In : Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design 2012.*

WEBSTER, A.; FEINER, S.; MACINTYRE, B.; MASSIE, W. e KRUEGER, T. - *Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation*. In : *Proc., Computing in Civil Engineering, ASCE, Reston, Va, 913–919* 1996.

WEINBERG, G. M. - *An Introduction to General Systems Thinking.*, 2001.

WEIPPERT, A.; KAJEWSKI, S. e TILLEY, P. - *The Implementation of Online Information Technology (ICT) on Remote Construction Projects*. *Logistics Information Management*, vol. 16, págs. 327-340. 2003.

WIKFORSS, Ö. e LÖFGREN, A. - *Rethinking communication in construction*. *Journal of information technology in construction*, vol. 12, págs. 337-345. 2007.

WOODWARD, C.; HAKKARAINEN, M.; KORKALO, O.; KANTONEN, T.; AITTALA, M.; RAINIO, K. e KÄHKÖNEN, K. - *Mixed Reality for Mobile Construction Site Visualization and Communication*. In : *Proceedings of 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR), Sendai, Japan 2010*.

WU, I.-C. e HSIEH, S.-H. - *A framework for facilitating multi-dimensional information integration, management and visualization in engineering projects*. *Automation in Construction* , vol. 23, n° 0, págs. 71-86. 2012.

YANG, R. - *The study and improvement of Augmented reality based on feature matching*. In : *Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2011 IEEE 2nd International Conference on*, pp.586-589. july, 2011.

YEH, K.; TSAI, M. e KANG, S. - *On-Site Building Information Retrieval by Using Projection-Based Augmented Reality*. *Journal of computing in civil engineering*, vol. 26, págs. 342-355. 2012.

YEOMANS, M. - *Practical Implementation of a Construction Quality Management System (CQMS)*. *Tech. rep. The INGAA Foundation, Inc., 2013*.

YOU, S. e NEUMANN, U. - *Fusion of Vision and Gyro Tracking for Robust Augmented Reality Registration*. In : *Proceedings of the Virtual Reality 2001 Conference (VR'01) 2001*.

YU, S.-N.; JANG, J.-H. e HAN, C. S. - *Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel*. *Automation in Construction* , vol. 16, n° 3, págs. 255-261. 2007.

ZHOU, F.; DUH, H. e BILLINGHURST, M. - *Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR*. In : *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Washington, DC, USA, pp.193-202*. 2008.

ANEXOS

Formato das entrevistas

- 1) A atividade mencionada no mapa X é implementada durante o processo?
 - a. Se não:
 - i. Quais as razões?
 - b. Se sim:
 - i. É desempenhada de acordo com todas as diretrizes do manual de qualidade?
 - ii. Como é desempenhada a atividade? Quais as suas necessidades e objetivos? Quais são os participantes?
- 2) Participa na atividade mencionada no mapa X?
 - a. Se não:
 - i. Qual a razão para a sua não participação?
 - b. Se sim:
 - i. Qual o principal propósito da atividade?
 - ii. Quais as principais dificuldades experimentadas durante a execução da atividade?
- 3) Utiliza algum tipo de ferramentas para auxílio da atividade?
 - a. Se sim:
 - i. Quais?
 - ii. Acha que são suficientemente eficazes para a execução da atividade?
 - b. Se não:
 - i. Que tipo de ferramentas considera que seriam uma mais-valia para a execução da atividade?
- 4) A atividade X encontra-se dependente da atividade Y. Experimenta algum tipo de dificuldades na troca de dados entre atividades?
 - a. Se sim:
 - i. Quais?
- 5) Como recebe as instruções para a execução da atividade?
 - a. Quais as principais dificuldades?
- 6) Como comunica os resultados da atividade?
 - a. Quais as principais dificuldades?
- 7) Tem facilidade em comunicar com os restantes intervenientes do processo?
 - a. Se não:
 - i. Sente mais dificuldade em comunicar com intervenientes do mesmo nível operacional ou de diferente?

- 8) Em sua opinião o que está mal nas atividades em que participa?
- 9) Quais as necessidades profissionais que gostaria de ver preenchidas, de modo a desempenhar melhor as atividades em que participa?
- 10) O que acha do Sistema de Gestão de Qualidade implementado pela empresa?