



O Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE), como órgão produtor de cartografia, constitui-se como referência nacional no fornecimento de informação geográfica, promovendo o estudo, desenvolvimento e implementação de projetos inovadores, a nível nacional e internacional.

A sustentabilidade e interação de toda a informação são baseadas em duas tecnologias base, CAD (*Computer-Aided Design*) e SIG (Sistema de Informação Geográfica), esta última já com capacidades de executar operações espaciais numa Base de Dados com elementos gráficos associados a dados alfanuméricos (identificadores - id's - e atributos).

Dentro de um processo interno de migração de tecnologias, a informação é adquirida em SIG, melhorando significativamente em termos de qualidade, carecendo, no entanto, de ferramentas de validação de dados tridimensionais por processos automáticos de forma a produzir informação geográfica, completa, consistente e coerente, simplificando e aperfeiçoando procedimentos. O CIGeoE e o Exército dispunham de capacidade para validação de dados tridimensionais em formato CAD. Neste formato as entidades geográficas (estradas, construções, áreas de vegetação, etc) são representadas por elementos gráficos (áreas, linhas e pontos) e caracterizadas pelos seus atributos gráficos (tipo, nível, cor, estilo e espessura). Validar dados tridimensionais neste formato é um processo complicado e bastante moroso computacionalmente, sem qualquer relação entre objetos, um processo pouco prático e nada intuitivo para os operadores que processam a informação geográfica e produzem Carta Militar. Com este projeto de Validação da Informação Geoespacial a 3D (VIGeo3D) pretendeu-se desenvolver uma metodologia de processamento de validação de dados geográficos tridimensionais em formato SIG, com atributos alfanuméricos associados a cada elemento geográfico, ficando estes aptos a serem explorados nesse formato desde o momento da própria validação, com todas as capacidades de análise de informação inerentes (inquirição/seleção, vizinhança, superfície, redes, *Overlay* - sobreposição).

Projeto VIGeo3D

Introdução

O Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE), consciente da importância da melhoria contínua da sua informação geoespacial, iniciou em 2010 a aquisição de dados tridimensionais que constituem a informação de base para a Carta Militar, escala 1:25 000, Séries M888, M889 e P821, para Base de Dados Geográfica (BDG), por métodos fotogramétricos.

A informação vetorial da BDG do CIGeoE constitui informação estruturante, o que leva à procura constante da maior qualidade para estes dados. Porque a estrutura da informação e a sua simbolização para visualização são de momento as adequadas para a Carta Militar, a fase inicial desta nova metodologia consistiu na criação de uma GDB (*ESRI File Geodatabase*), cujos objetos resultaram de uma compilação do Catálogo de Objetos do CIGeoE e uma simbologia em tudo idêntica à que tem vindo a ser produzida em CAD (*Computer-Aided Design*).

A aquisição de dados por processos fotogramétricos, para a Carta Militar 1:25 000, Séries M888, M889 e P821, em ambiente SIG, passou então a ser possível com um projeto de ID&I denominado "Aquisição de Dados Tridimensionais para Sistemas de

Paulo Pires

Tenente-Coronel de Cavalaria

Engenheiro Informático

Centro de Informação Geoespacial do Exército

ppires@igeoe.pt

João Afonso

Major de Infantaria

Engenheiro Informático

Centro de Informação Geoespacial do Exército

jafonso@igeoe.pt

António Soares

Programador de Sistemas

Centro de Informação Geoespacial do Exército

asoares@igeoe.pt

Informação Geográfica” (SIG3D)¹, melhorando significativamente a qualidade da informação adquirida, simplificando e aperfeiçoando procedimentos.

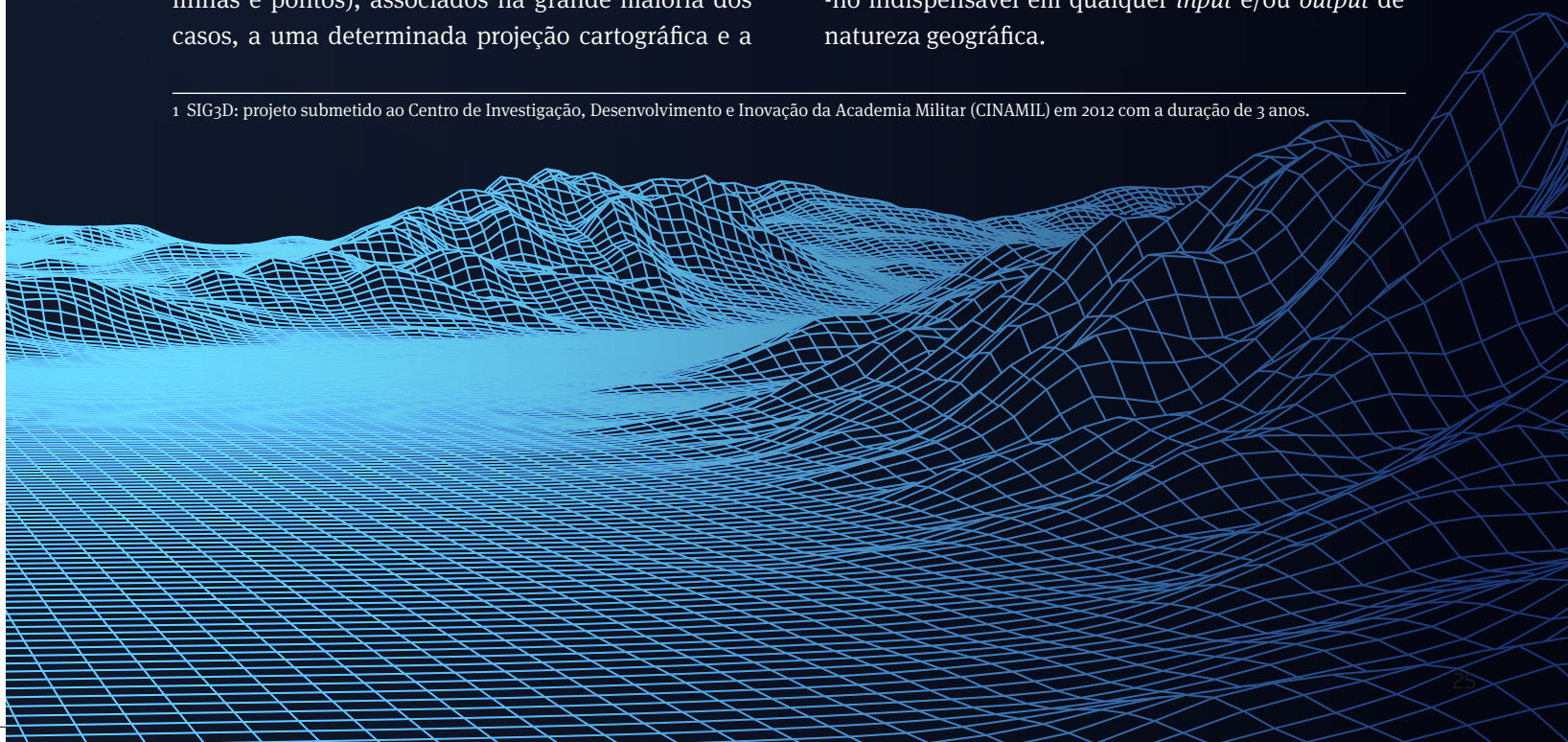
A aquisição da informação por processos automáticos, em ambiente SIG, eleva o nível de rigor na sua completude, consistência e coerência de modo a disponibilizar ao Exército, às Forças Armadas e ao País informação geográfica precisa e válida para as suas necessidades, (Figura 1). Este rigor da informação geográfica implica uma correta validação digital desse produto vetorial: validação de estrutura, de geometria e de integridade espacial.

O CIGeoE dispõe de capacidade para a validação de dados tridimensionais em formato CAD. Neste formato as entidades geográficas (estradas, construções, áreas de vegetação, etc) são representadas por elementos geométricos (áreas, linhas e pontos) e são caracterizadas pelos seus atributos gráficos (nível, cor, espessura e estilo).

Nos SIG, as entidades geográficas são representadas igualmente por elementos geométricos (áreas, linhas e pontos), associados na grande maioria dos casos, a uma determinada projeção cartográfica e a

um conjunto de atributos descritivos com características dessas geometrias. A característica básica e geral dos SIG é a capacidade de lidar com relações espaciais entre objetos geográficos. Entenda-se por topologia a estrutura de relações espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que se podem estabelecer entre objetos geográficos. Os SIG tornaram-se, ao longo da última década, numa ferramenta imprescindível para um número crescente de decisores com um enorme impacto em todos os campos que utilizam e analisam dados distribuídos espacialmente. A velocidade, a consistência e a precisão inerentes a um SIG, tornam-no indispensável em qualquer *input* e/ou *output* de natureza geográfica.

¹ SIG3D: projeto submetido ao Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL) em 2012 com a duração de 3 anos.



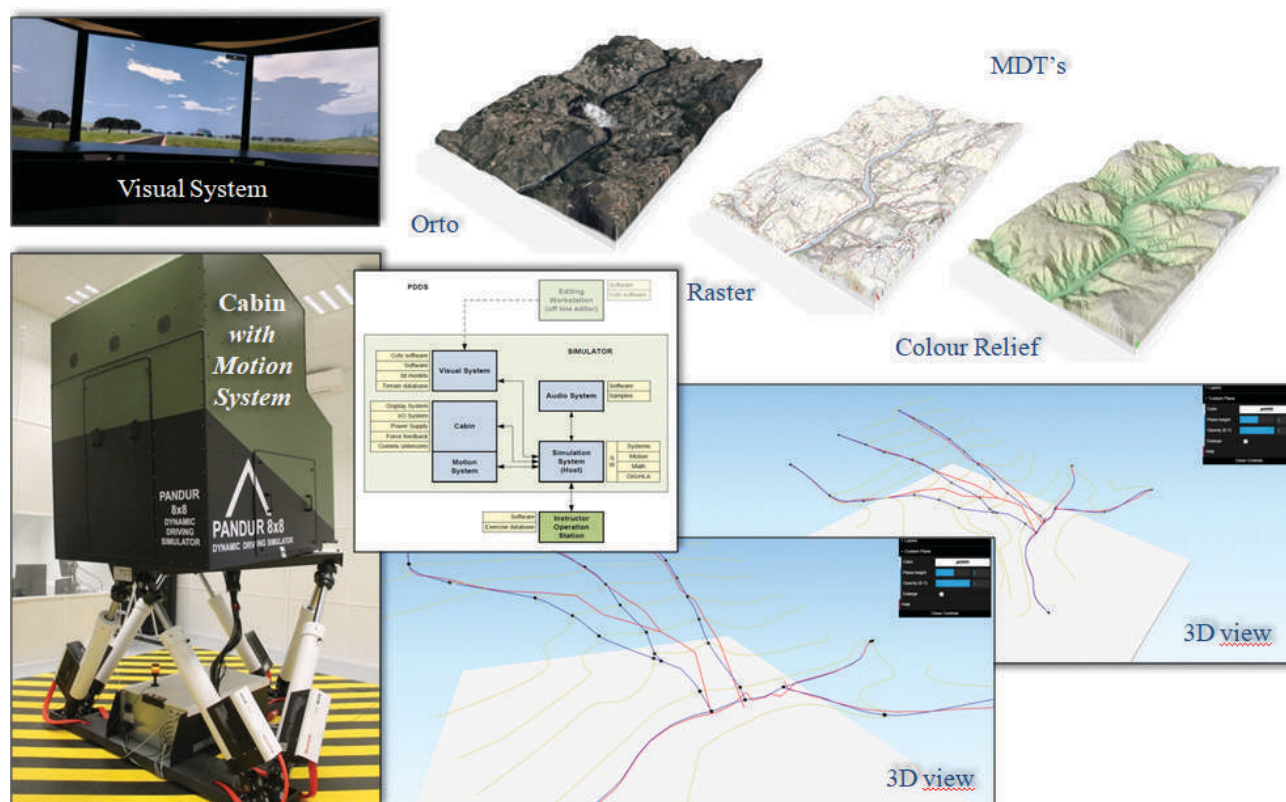


Figura 1 - Produtos/necessidades finais (pós validação da informação)

As vantagens mais comuns da utilização dos SIG estão associadas aos próprios dados, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com enorme rapidez e todas as interações são associadas à sua geometria, permitindo igualmente a utilização de ferramentas matemáticas e estatísticas. Os SIG entram no nosso mundo como uma mais-valia em processos de tomada de decisão, facilitando a atualização dos dados e possibilitando produzir mapas com rapidez e eficiência.

A metodologia atual executa a validação tridimensional (3D restrito a alguns objetos) de dados por processos automáticos em *batch/scripts* em ambiente CAD. Considerou-se assim relevante a migração deste processo CAD sendo necessário efetuar um mapeamento (Catálogo de Objetos do CIGeoE) entre os elementos geográficos e os diversos elementos gráficos que os representam. Os SIG, diferentemente do CAD, implementam relações espaciais entre objetos o que permite a utilização de ferramentas de análise, tais como o *buffer* que se utiliza para determinar objetos dentro de uma determinada vizinhança de outro objeto.

Assim, o objetivo deste projeto denominado “Validação Informação Geoespacial 3D” (VIGeo3D)²

é a inovação da Cadeia de Produção, (Figura 2), da Carta Militar, Escala 1/25 000, do CIGeoE com uma metodologia que permita a validação de dados tridimensionais em ambiente SIG, com recurso às novas ferramentas disponíveis na área da informação geográfica.

Processo e Implementação

O projeto de Validação da Informação Geoespacial a 3D (VIGeo3D), decorreu num período de três anos durante os quais foram desenvolvidos módulos de ID&I necessários tendo por fim último a sua implementação na Cadeia de Produção. Esta implementação é a sequência de um conjunto de outros projetos de migração de CAD para SIG, já desenvolvidos no CIGeoE.

A atual Cadeia de Produção da escala base 1:25 000 do CIGeoE, (Figura 3), inclui as seguintes fases: a) Voo, b) Estereorrestituição Digital, c) Completagem de Campo, d) Pré-Validação, e) Validação Digital, f) BDG, g) Produto Vetorial ou *Raster*. Algumas destas fases já migraram os seus processos de CAD para SIG, como é o caso das descritas em

² VIGeo3D: projeto submetido ao Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL) em 2016 com a duração de três anos.

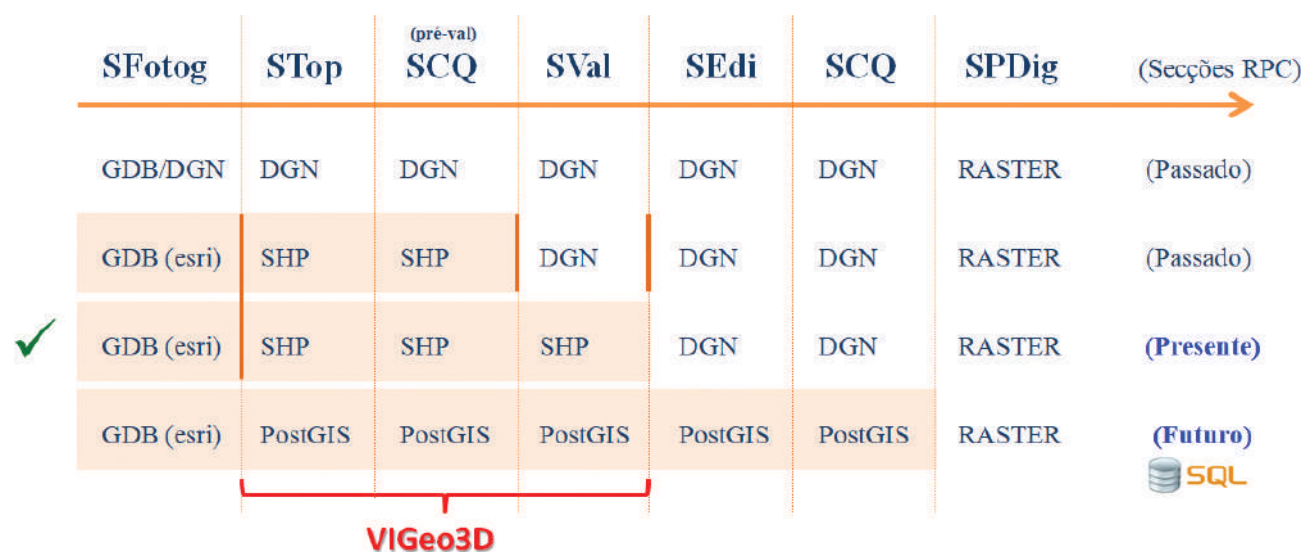


Figura 2 – Validação em SIG na Cadeia de Produção

b), c) e d). Com o término do projeto de validação VIGeo3D, pretende-se atingir a completa migração da fase e), a Validação Digital. O projeto VIGeo3D e outros projetos de I&D visaram a substituição dos algoritmos utilizados pelos *Microstation v7* (*MicroStation Development Library - MDL*), *Geographics*, *Dynamo*, *Dynagen*, *Geomedia*, por novos algoritmos e *softwares* tendo em vista a otimização da vali-

dação 2D e 3D de todo o Catálogo de Objetos, em ambiente SIG. Entenda-se por Pré-Validação como a verificação e detecção de erros de aquisição e campo que não estejam de acordo com as Normas em vigor do CIGeoE e Documentos Oficiais públicos³.

A informação é assim adquirida georreferenciada, no início da Cadeia de Produção, sendo esta georreferenciação uma das componentes de

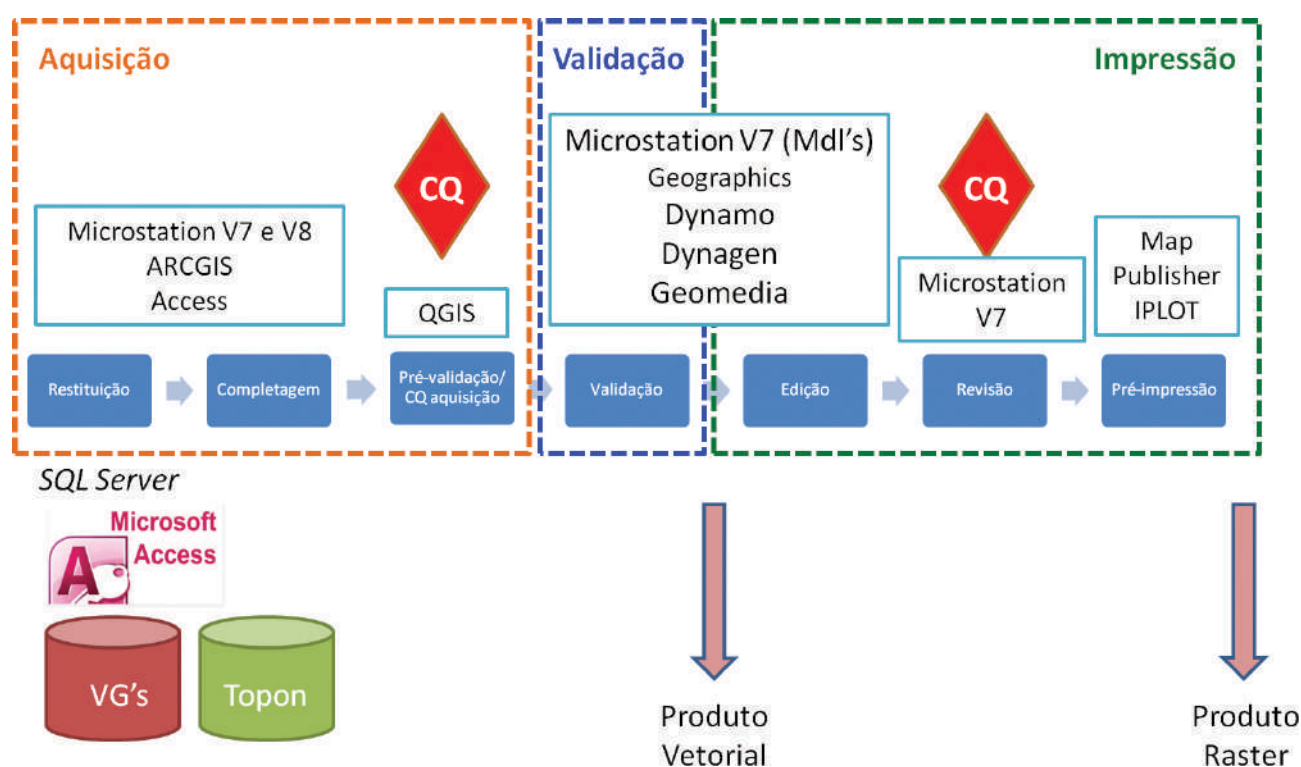


Figura 3 – Fases de migração da Cadeia de Produção

³ Documentos Oficiais públicos: CAOP DGT, Vértices Geodésicos DGT, Plano Rodoviário 2000, Reorganização Administrativa, etc.

qualquer Informação Geográfica. A BDG constitui assim a fonte da informação geográfica. O modelo de dados geográficos da BDG é uma representação da realidade com o objetivo de constituir uma base de dados georreferenciados de média escala.

No Catálogo de Objetos da BDG estão definidas todas as *features*, o seu tipo de geometria e os seus atributos respetivos. Por *feature* entenda-se o objeto geográfico do ponto de vista da modelação implementada.

As *features* da BDG são abstrações do modelo de dados para guardar objetos geográficos concretos, e são diferenciadas entre outros fatores pelo seu tipo de geometria. Ponto, linha e polígono são os três tipos de geometria que as *features* podem assumir.

A validação dos dados geográficos adquiridos tem como objetivo confirmar e verificar se determinada informação é válida, verdadeira, correta e precisa. A validação digital pode ser definida como o conjunto de operações de processamento e tratamento da informação vetorial, com a finalidade de corrigir os erros de estrutura (atributos corretos mas não de acordo com Catálogo de Objetos do CIGeoE), geométricos (existência de duplicados, *overshoots*, *undershoots*, *node mismatch*, etc) e de integridade espacial (coerência e consistência em

termos de relações espaciais) entre todos os objetos da Base de Dados Geográfica, por processos totalmente automáticos.

A validação pretendida está sempre associada à determinação da diferença entre a informação digital adquirida e a informação que se pretendia adquirir. Na origem dessas diferenças de estrutura, de geometria e de integridade espacial estão diversos fatores, entre os quais se destacam a resolução do *pixel*, a acuidade estereoscópica dos operadores de fotogrametria ou o fator de *zoom* do monitor utilizado durante a restituição.

Como formato final deste processo de validação definiu-se a *Shapefile* (SHP), por diversos fatores inerentes a este tipo de formato, como por exemplo o rápido acesso à informação, ser um formato *standard* e acima de tudo, pela separação dos elementos por geometria, dados alfanuméricos, projeção, entre outros, de uma forma temática ou por *features*, possibilitando mais tarde ser mapeada para outro tipo de formato. A altimetria possui a consistência/coerência tridimensional necessária à escala 1: 25 000. A migração da validação a 3D, inicialmente circunscrita às *features* “Curva de Nível”, “Ponto Cotado”

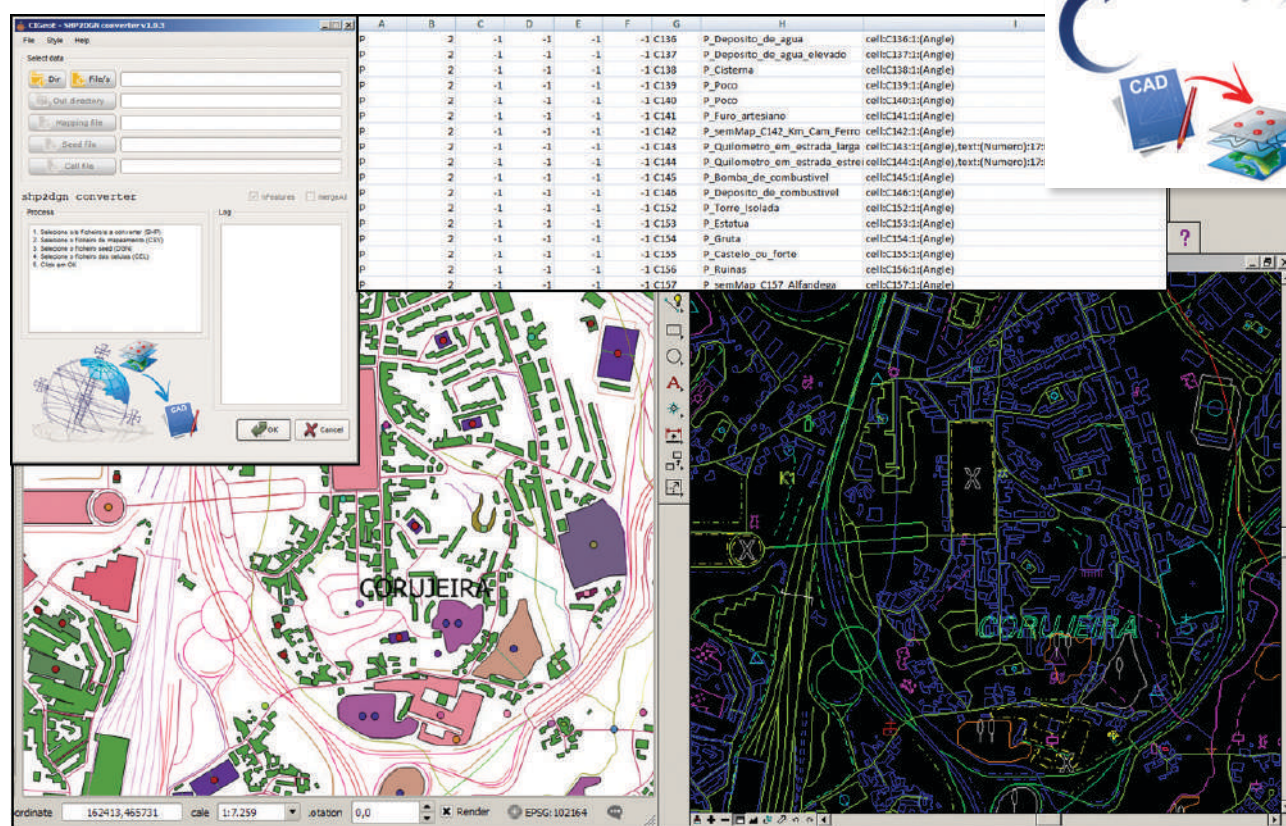


Figura 4 - Aplicação SHP2DGN_CONVERTER

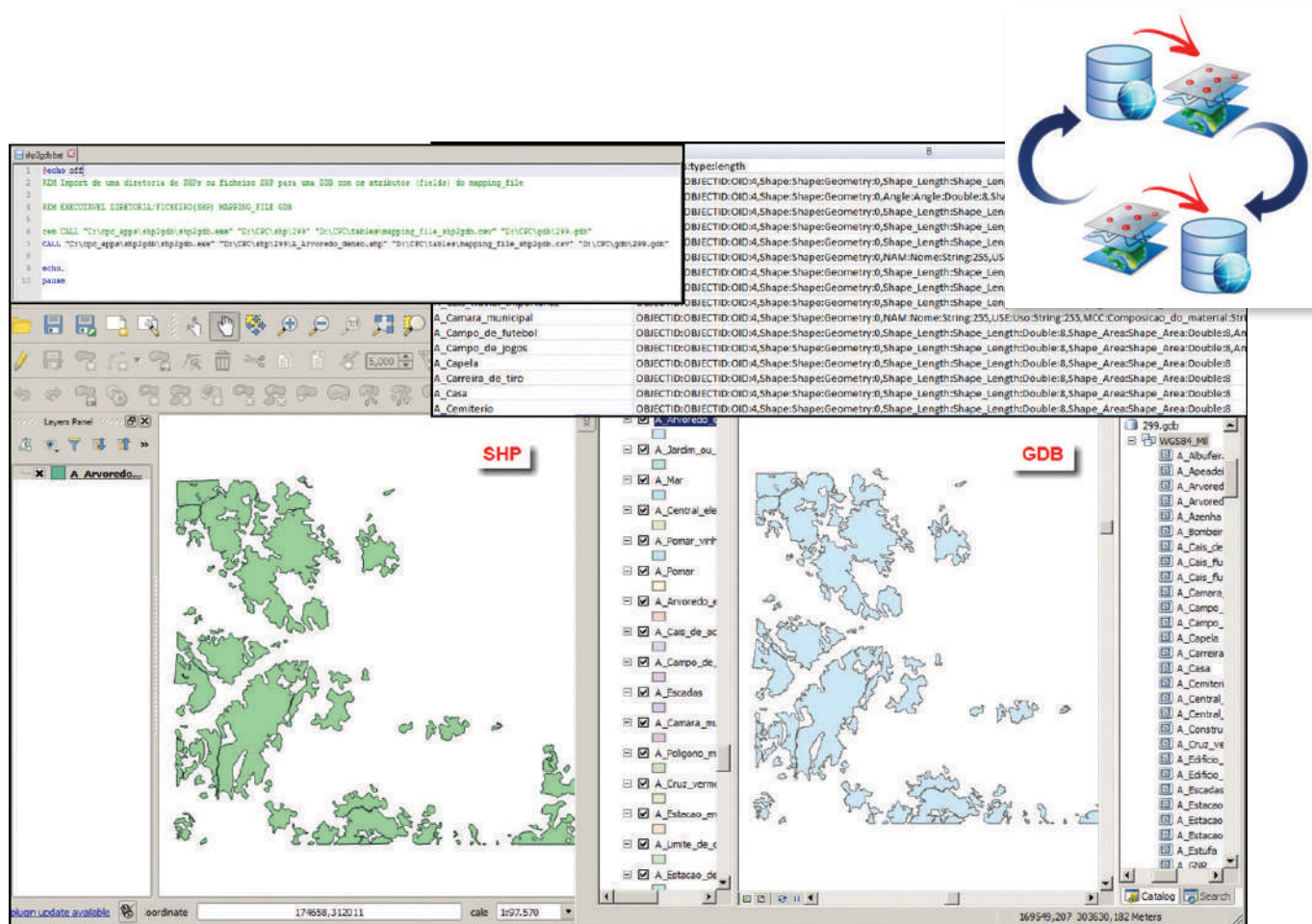


Figura 5 - Aplicação SHP2GDB

e “Vértice Geodésico”, alargou-se aos restantes temas com prioridade para a Hidrografia (áreas e linhas). A restante informação como Vegetação, Edifícios, Vias, Caminhos, Toponímia, etc, é validada garantido a consistência geométrica e topológica no que se refere às coordenadas M e P, sendo a cota/altitude ortométrica dos vértices dos pontos, linhas e áreas mantida, ou alterada no mínimo durante a manipulação do vetor.

A implementação final do projeto só foi possível depois da I&D de outros módulos que, por necessidade desta nova abordagem/metodologia tiveram que ser desenvolvidos, tendo sempre presente a relação “CAD-SIG”, fundamental e essencial para a completa migração e implementação de todo o processo em ambiente SIG. Estas ferramentas respondem à necessidade de mapear, a partir do CAD, todos os objetos e atributos correspondentes à sua geometria e a continuidade de utilização na Cadeia de Produção em ambiente SIG.

Assim e como parte integrante do projeto VIGeo3D, foram desenvolvidas ferramentas necessárias a todo o processo e sua implementação

para uma completa conversão de formatos e um controlo absoluto de toda a informação. As aplicações DGN2SHP_CONVERTER⁴ (CAD para SIG) e SHP2DGN_CONVERTER⁵ (SIG para CAD), (Figura 4), assim como as aplicações GDB2SHP e SHP2GDB (uso da biblioteca ARCPY⁶), (Figura 5), são aplicações responsáveis pela conversão de formatos que efetuam o mapeamento (ficheiro de mapeamento) de todos os objetos segundo um Catálogo de Objetos definido.

Foram desenvolvidas igualmente ferramentas de validação de geometrias e de elementos textuais associados (validação da Toponímia, consistência de nomenclaturas de *features*, etc), quer em formato *Shapefile*, a aplicação SHPTOOL⁷, como ferramenta inicial de validação diretamente em ficheiro com representação geométrica e atributos, quer em formato Base de Dados, a aplicação PGIS-TOOL com recurso da Base de Dados Geográfica POSTGRESQL/POSTGIS como ferramenta final de validação e com representação multigeométrica. A validação de geometrias varre um vasto leque de validações como por exemplo: “*Node mismatch*”,

⁴ Aplicação CAD2SIG_CONVERTER: Boletim CIGeoE nº 77 de novembro de 2015.

⁵ Aplicação SIG2CAD_CONVERTER: Boletim CIGeoE nº 80 de novembro de 2018.

⁶ ArcPy: Biblioteca ArcGIS em Python com funcionalidades para realizar análise, conversão e gestão de dados geográficos e automação de mapas em Python.

⁷ Aplicação SHPTOOL: Boletim CIGeoE nº 79 de novembro de 2017.

“Overshoot”, “Undershoot”, “Self-intersections”, “Spikes”, “Duplicate_Features”, “Duplicate_Points”,

“Kickbacks”, “Valid_Feature”, “Simple_Feature”, “Single_Part_Geometry”, etc, (Figura 6).

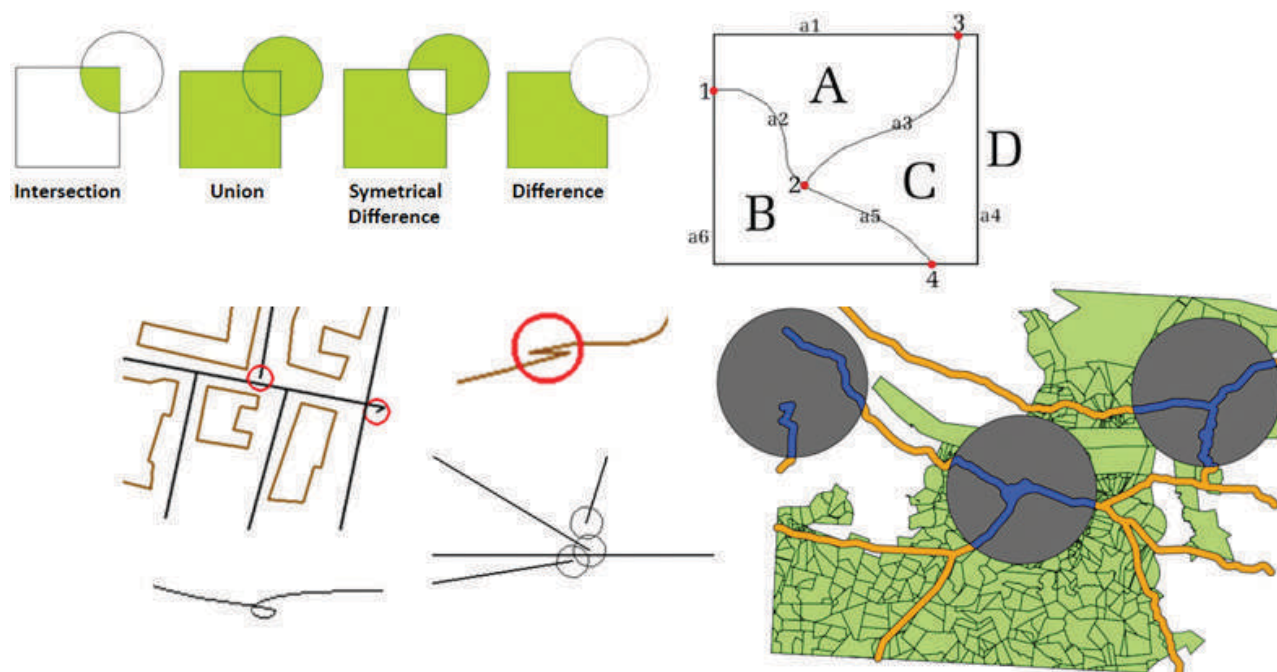


Figura 6 - Validação de geometrias

Exemplo de erros geométricos

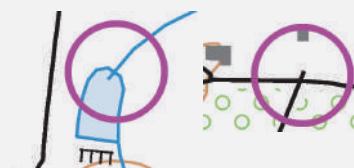
• “Node mismatch”

Este erro consiste na existência de nós a uma distância inferior à tolerância admitida (parâmetro), uma curva de nível que se encontra interrompida (cabeço) ou vias não se ligam corretamente.



• “Overshoot”

O *overshoot* ocorre quando uma linha cruza e ultrapassa outra linha à qual deveria ligar (*snap*) e que contém um ponto a uma distância dessa linha, inferior à tolerância admitida (parâmetro). Para corrigir este erro deverá ser necessário fragmentar primeiro a linha e só depois processar o vértice do extremo da linha.



• “Undershoot”

Este erro surge quando um extremo de uma linha termina a uma distância de outra linha, inferior à tolerância (parâmetro). Conjuntamente com o *overshoot* é o erro mais frequente em todos os tipos de modelação que contenham redes de arcos, como é o caso da Rede viária, Hidrografia, Rede Eléctrica, etc.



• “Self-intersections”

Ocorre quando uma linha se cruza com ela própria. Aqui se contempla também o caso em que uma curva de nível se cruza com ela mesma.



• “Spikes”

Ocorre pela intersecção de geometrias ou por erros de digitalização. Um desvio abrupto na linha exterior ou interior de um polígono. O mesmo pode ocorrer na geometria do tipo linha.



Foi também desenvolvida a ferramenta *Raster-TOOL*, com o objetivo de simplificar procedimentos da Cadeia de Produção e eliminar o recurso a *software* proprietário no tratamento de imagens que são adquiridas na fase c) Completagem de Campo, de que são exemplo as fotografias de Juntas de Freguesia, Tribunais, Pontes, Vértices Geodésicos, Corporações de Bombeiros, etc. Esta ferramenta tem funcionalidades que vão desde uma simples obtenção de informação relativa às imagens de *input*, a separação e a união de canais CMYK, inversão da cor, alteração da resolução, dimensões, identificação de textos e borrão de caras de pessoas e textos, por exigências de proteção de dados pessoais.

Seguem alguns exemplos:

- **tif2shp**: converte um tif em *shapefile*;
- **shppolyztif**: converte uma *shapefile* em tif com transparência (*istransparent*), cor de fundo (*bgColor*), cor da linha exterior (*outlineColor*), cor do preenchimento (*fillColor*), tamanho do *pixel* (*pixelSize*) e *epsg*;
- **vgbuffer2img**: extrai as imagens de um *raster* (*tiff*), centradas nas coordenadas dos VGs (*shpvgsfile* ou M;P) com comprimento (*hdist*) e altura (*vdist*);
- **checktext**: extrai texto da imagem;
- **blurfaces**: cria borrão na cara das pessoas que encontra nas imagens com parâmetros *scaleFactor* (> 1) e *minNeighbors* (3 a 6) $>$ (*higher values means less accuracy*);
- **blurtexts**: cria borrão nos textos que encontra nas imagens.

Validação intervencionada

As diversas aplicações enunciadas, detetam e corrigem a maioria dos erros de uma forma automática, mas há sempre uma pequena percentagem que carecem de ser verificados pelo operador. Assim, de forma geral, essas ferramentas de validação automática trabalham com valores de *threshold*, que controlam os erros a corrigir de imediato e aqueles a sinalizar (dúvidas), para verificação.

Para melhor compreensão, a (Figura 7) exemplifica dois “*overshoots*”, sinalizados de forma automática. Foram utilizados valores de *threshold* de 2 e 20 metros, ou seja, segmentos de linha/estrada com uma das pontas isoladas e com valor inferior a 2 metros são automaticamente corrigidos e, entre 2 e 20 metros, são sinalizados para verificação, como acontece, na figura, em duas situações.

Após sinalização das dúvidas, e em momentos bem definidos, o operador utiliza o SIG QGIS para fazer a correção das mesmas. Dada a grande especificidade da Cadeia de Produção do CIGeoE, as ferramentas, por defeito, existentes no QGIS, não são as suficientes para a execução, destes trabalhos, de forma eficiente. Desta forma, recorrendo à possibilidade de criação de módulos para extensão deste SIG, foram sendo desenvolvidos, ao longo do projeto, diferentes *plugins*, para otimização destes momentos de validação intervencionada pelo operador.

De quinze *plugins* já desenvolvidos, salientam-se os seguintes três:

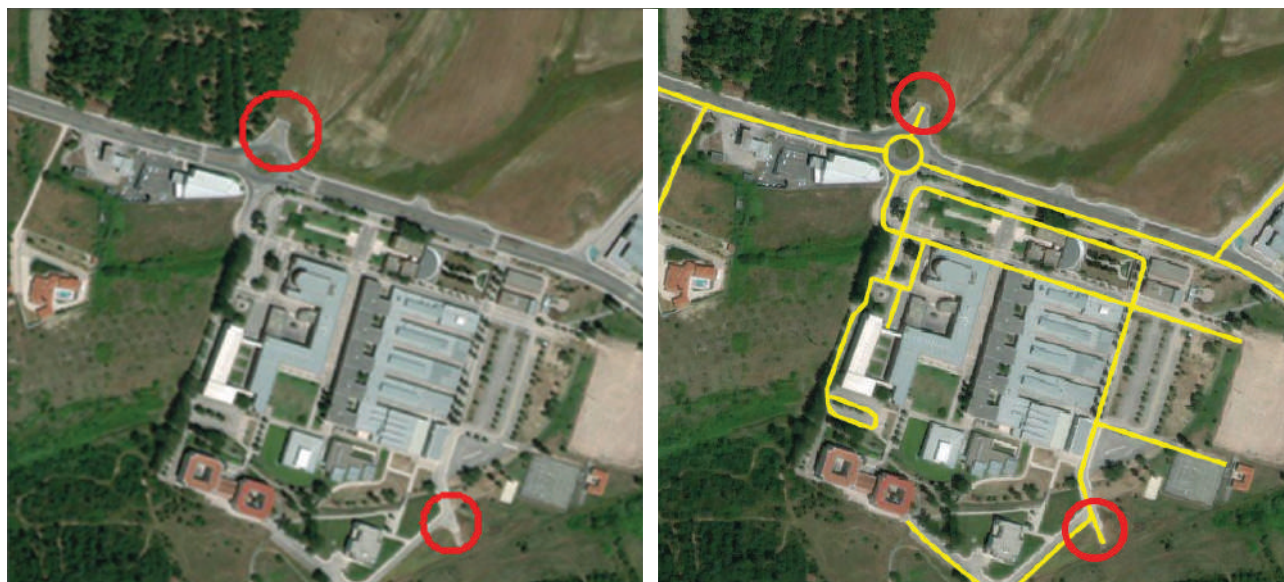


Figura 7 - Exemplos de sinalização de falsos positivos (“*overshoots*”)

1. FEATURE ITERATOR

As sinalizações das dúvidas, efetuadas automaticamente, consubstanciam-se numa nova *layers*/camada. Rapidamente se percebeu que, o operador, perdia muito tempo na procura e resolução dessa dúvidas e, nesse intuito, desenvolveu-se o *plugin* Feature Iterator, (Figura 8).

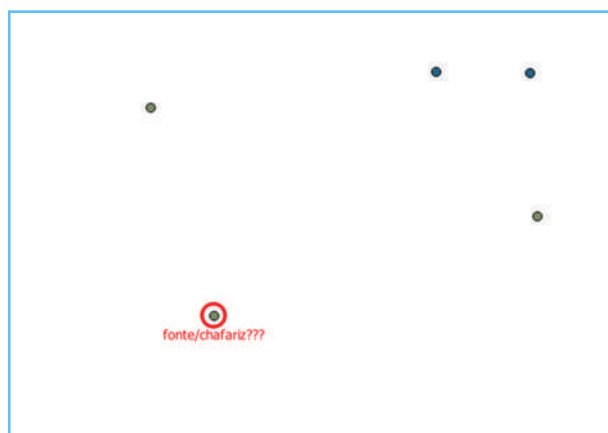


Figura 8 - *Plugin Feature Iterator*, para QGIS, para verificação de dúvidas

Após ativação, permite, ao operador, iterar sobre cada uma das dúvidas, perceber o problema, resolver e apagar a dúvida, no final. Após a correção de uma dúvida, basta, ao utilizador, carregar uma única vez no botão de “eliminar”, que o QGIS elimina essa informação e desloca a janela de visualização para a dúvida seguinte.

Este *plugin* foi disponibilizado pelo CIGeoE no repositório oficial de *plugins* do QGIS, contando, à data de elaboração do presente, com mais de 3300 *downloads*.

2. FEATURE NODES Z TAG

O tratamento da terceira dimensão (3D) é, cada vez mais, fundamental na criação de uma BDG e, atualmente, os SIG não disponibilizam muitas ferramentas para o seu manuseamento. Começam já a existir, no mercado, diversos visualizadores 3D mas, para as necessidades do CIGeoE, não é ferramenta que baste. A simplicidade deste *plugin* contrasta com a relevância e eficiência para o tratamento de informação 3D: uma vez ativado, surge uma etiqueta, em cada vértice, com o valor do Z. As eventuais verificações, visualmente, por parte do operador, sobre se uma curva de nível está, efetivamente, à mesma cota, ou verificar a monotonia de uma linha de água, tornam-se triviais, (Figura 9).

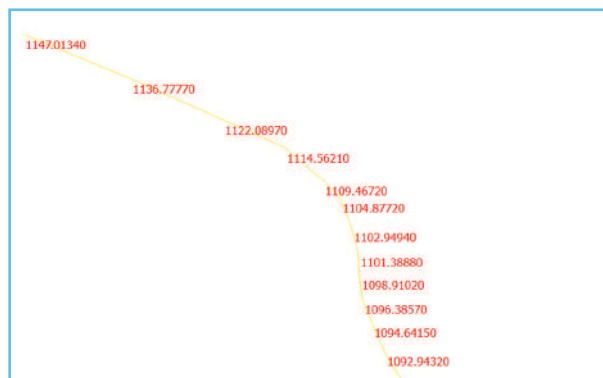


Figura 9 - *Plugin Feature Nodes Z Tag*, para QGIS, aplicado sobre uma linha de água

3. CONVERGE LINES

Por vezes, como resultado da restituição, ou da própria validação/correção automática, são gerados certos erros já enumerados, como “*nodes mismatches*” ou “*undershoots*”. Para se efetuar uma correção ágil destes erros, foi desenvolvido o *plugin Converge Lines*. Após ativação, a simples criação de um quadrado de, normalmente, 3 a 5 metros de lado, por arrastamento do rato sobre os vértices a unir, faz com que seja calculado um ponto médio e, todos os vértices, serão unidos nesse ponto, (Figura 10).

Durante o desenvolvimento do VIGeo3D, as principais bibliotecas de suporte do QGIS (cuja utilização, no CIGeoE, se iniciou a partir da versão 2), sofreram evoluções como adaptação à própria evolução do *software* QGIS o que implicou o consequente *update* das aplicações desenvolvidas internamente pelo CIGeoE. O lançamento da versão 3 deste *software* teve repercussões, também, nos *plugins* já desenvolvidos, tendo-os tornado incompatíveis com esta nova versão. No momento presente, já se efetuou a conversão de todos os *plugins* para a nova versão, estando-se a corrigir, e a ajustar, os *bugs* encontrados.

Conclusões

O projeto VIGeo3D é um projeto de ID&I de ferramentas de validação de geometrias e elementos textuais associados de todos os elementos adquiridos. A validação de geometrias do tipo Ponto, Linha e Polígono a duas dimensões (2D > X e Y) e três dimensões (3D > X, Y e Z) são essenciais para a consistência da informação, e continuidade da sua utilização na Cadeia de Produção em ambiente SIG;

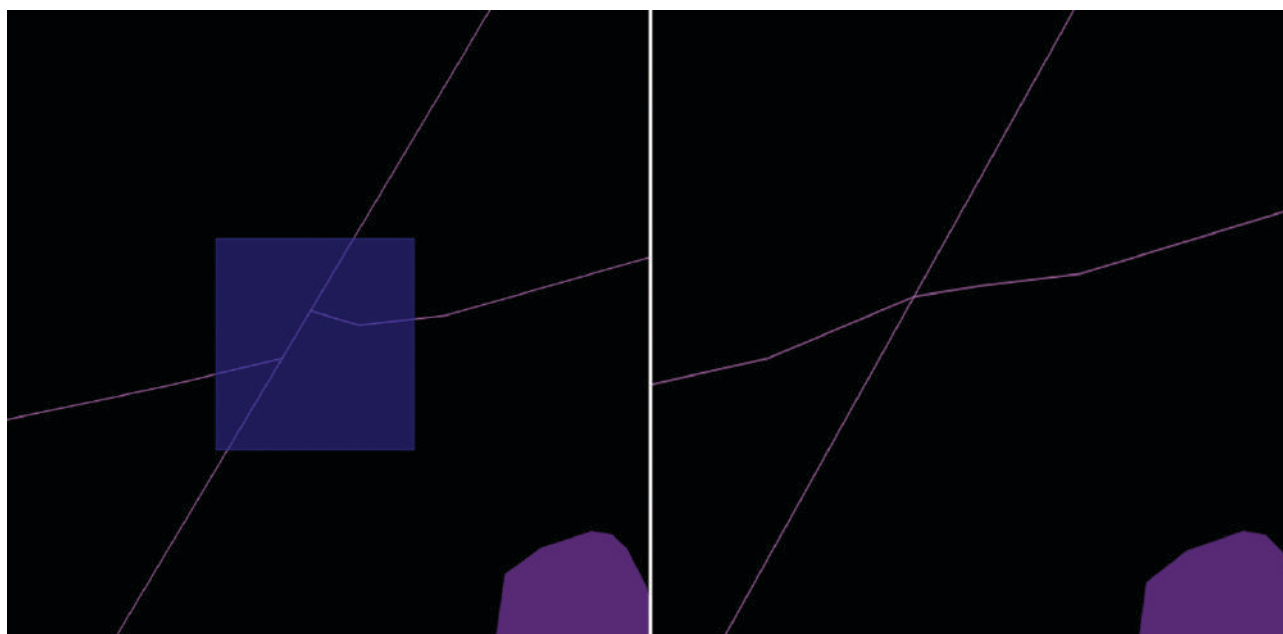


Figura 10 – *Plugin Converge Lines*, para QGIS, aplicado sobre rede viária

Neste âmbito, desenvolveram-se funcionalidades essenciais de validação, realçando a aplicação SHPTOOL com a validação direta em ficheiro com representação geométrica e aplicação PGISTOOL com recurso direto a uma Base de Dados Geográfica (POSTGRES/POSTGIS), tirando partido das valências de uma Base de Dados Geográfica, possibilitando a análise espacial, explorando a geometria/topologia, com vista à modelação do mundo real, com um armazenamento de dados como utilização futura para inúmeras análises de geometria ou conteúdo. No intuito de uniformização de dados antigos em imagem e tratamento dos mesmos, realço igualmente a aplicação *RasterTOOL* como ferramenta essencial de conversão de formatos imagem e tecnologias de cor.

Como concretização do projeto foi realizada a implementação em Cadeia de Produção de todo o conjunto das aplicações/ferramentas desenvolvidas, mais concretamente, na Secção de Fotogrametria e na Secção de Validação, para validação de todas as *features* da Carta Militar, o que implicou a correspondente formação e apoio técnico necessário nas tecnologias implementadas (aplicações desenvolvidas e *software* QGIS) aos operadores envolvidos na produção da Carta Militar;

Deste modo, foi efetuada a completa migração de mais uma fase da Cadeia de Produção do CIGeoE (Validação Digital), da tecnologia CAD para SIG, garantindo-se assim que toda a informação da BDG, em que assenta a produção da Carta Militar à escala

1/25 000, Continente e Ilhas, é validada a 3D em ambiente SIG, levando a uma simplificação e aperfeiçoamento de procedimentos na Cadeia de Produção do CIGeoE e consequentemente a um aumento da qualidade, com informação 3D consistente geometricamente e topologicamente, e da produtividade.

Referências bibliográficas

- Lutz, Mark (2013). *Learning Python* 5 ed;
 Lutz, Mark (2010). *Programming Python* 4 ed;
 David Beazley e Brian K. Jones (2013). *Python Cookbook* 3 ed;
 GDAL-SOFTWARE-SUITE. *Geospatial data abstraction library*;
 OGR-SOFTWARE-SUITE. *Geospatial data abstraction library*;
 Domingos, P., (2005), “A Validação da Informação Vectorial no IGeoE”. IV Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa, Portugal.

LIGAÇÕES EXTERNAS

- Python Programming Language*: <https://www.python.org/>
Software Development Platform: <https://github.com/GeospatialDataAbstractionLibrary>;
<https://www.gdal.org/>
The Open Source Geospatial Foundation:
<https://www.osgeo.org/>
Free and Open Source Geographic Information System:
<https://www.qgis.org/>