



生效日期：2010 年 6 月 30 日

CELEBRATING
50
YEARS
in 2010

VALE S.A.

礦產儲量外部審計

第 2 卷，第 8 節

SOSSEGO 礦山

提交至：

Vale Inco Limited
2060 Flavelle Blvd, Sheridan Park
Mississauga, Ontario
Canada L5K 1Z9

和
興



A world of
capabilities
delivered locally

項目編號：10-1117-0032 8000 期

分派：

複印本 1 份 - Vale Inco Limited

複印本 1 份 - Golder Associates Ltd.





執行摘要

Golder Associates S.A.的代表 Marcelo Godoy 博士、Ronald Turner 先生、Carlos Becerra 先生以及 José Bertini 先生在 2010 年 6 月 21 日至 25 日到現場考察，為 Vale 的 Sossego 銅礦項目進行的獨立審計評估其礦產儲量。

現場考察期間，他們考察採礦作業，採訪人員和收集評估所需適當的資料信息，以及用於估計礦產資源和礦產儲量的方法。該研究的聯繫人清單包括：

- Roberto Albuquerque e Silva – 銅礦規劃及品質控制總經理
- Juarez Lopes de Moraes – 長期開採規劃經理
- Benevides Aires Filho – 地質學家
- Cassio Diedrich – 地質統計學家
- Frederico Santana Castro – 長期規劃工程師
- Evandro Costa e Silva – 礦物加工工程師
- Eugenio Oliveira – 品質控制及港口營運經理
- Aline Salgado – 經濟評估
- Alan Araujo – 環境地質學家

本研究包括了對技術報告，備忘錄及從 Vale 獲取的支援技術信息的審查。同時向 Golder 公司提供以往內部及外部技術審查和審計報告（例如，2008 年 2 月由 PAH 公司對 Sossego 礦山進行的獨立儲量盤點審查）。

提供給 Golder 公司的礦物儲量評估，預期符合美國證券交易委員會的產業指南第 7 條，Canadian National Instrument (NI) 43-101 的規定，使用 CIM 特定的術語，並無出現不符合這些要求的情況。

對 Vale 在 2010 年 6 月 30 號發表的礦產儲量聲明由 Golder 公司進行審計。由 Golder 公司審計的礦產儲量是以該礦產資源模型為基礎的，並以合適的成本，優化以及調度的方法進行。Golder 公司接受把礦產資源轉化成礦產資源儲量的程序。這些數字對於作為公眾報告來說是合適的，因為他們提供了一個對可用的礦產資源儲量的可接受的預測。根據已記錄的成本及價格，公佈了在合適的經濟中斷等級上的噸數及品位。

下表提供的礦產資源儲量的數字，為適合向公眾公佈的精確度。



截至 2010 年 6 月 30 日對 Sossego 礦產資源儲量進行的評估

礦井	礦石類型	探明			推定			探明及推定		
		噸位 (百萬噸)	銅 (%)	金 (克 ／ 噸)	噸位 (百萬噸)	銅 (%)	金 (克 ／ 噸)	噸位 (百萬 噸)	銅 (%)	金 (克／ 噸)
Sossego 礦 山採礦中心	硫化礦	100.55	0.97	0.27	39.58	0.88	0.23	140.13	0.95	0.26
	混合礦	0.23	0.40	0.02	0.25	0.49	0.09	0.48	0.45	0.06
	總數	100.77	0.97	0.27	39.83	0.88	0.23	140.61	0.95	0.26

重要觀點

- Golder 公司認為，採用的樣品製備及化學分析程序，均為適合以評估礦產資源儲量為目的的標準。標準樣本顯示了可接受的準確度和精確度。
- 為了原地估算礦產資源的目的，由 Vale 採納的對總銅，黃金以及密度的整體估算方法是可接受的。
- 在礦坑優化中，Siqueirinho 和 Sossego 礦坑的邊坡興建恰當，礦坑斜坡被認為對於礦產資源儲量的一個低風險區域。
- Sequeirinho 的露天礦坑在完成時將達大概 500 米深。這露天礦坑開鑿非常深以及在採礦作中需要特別小心，以確保最終坑牆的穩定性，以便充分提取礦產儲備。
- 用於礦坑優化的銅和金的價格被認為適合於開發礦產資源儲量估算。特別是採用的價值觀普遍符合接受美國證券交易委員會的準則，建議使用值小於或等於過去 3 年的平均價格。
- 在最終礦坑設計及選定的 Whittle 礦坑外殼之間廢棄的噸位上的差異被認為是過多的，應該被審慎研究。可能由於在礦山設計過程中，引入邊際階段導致出現差距。在任何情況下，都應該對這些差異詳細以文書記述，並提供合適的解釋。相信對於未來的礦山設計優化有相當的提升空間。
- 在 LOM（礦山壽命）計劃中考慮採用的採礦設備隊已被審查，相信符合其相關的目的。採礦隊的成效已在過去的多年裡得到了證明。該礦山應該有足夠的地方供廢棄物傾倒和尾礦沉積，以支援該礦山壽命計劃和礦產資源儲量。



- 2009 年的盤點結果顯示實際生產與計劃相符。盤點過程被視為高水準。該加工廠房整潔乾淨，維護良好，以及利用現代化和適當的程式控制。總的來說，它給人一種非常有效率，以及精心設計的運作的印象。過程使用現代化的裝備儀器。
- Vale 持有巴西立法規定經營 Sossego 礦山所需的全部環境許可證。Golder 公司已經確定關於 Sossego 經營的環境方面沒有任何嚴重的缺陷。Sossego 的經營適當地完成了對環境的責任與義務。
- 轉換的礦產資源對礦產資源儲量的估算是基於一個適當的礦井設計和規劃。特別是，有歷史資料支援貧化礦石及其恢復的情況。根據合適的邊際等級報告噸位及品位。該礦已證明其有足夠的經濟能力證明來證明把礦產資源轉化成礦產儲量的可行性。



目錄

8.0	SOSSEGO 礦山	8-1
8.1	地點	8-1
8.2	所有權	8-1
8.3	土地使用權和採礦權	8-1
8.4	基礎設施	8-2
8.5	生產工藝和產品	8-3
8.6	金屬回收率	8-4
8.7	市場	8-5
8.8	歷史性的生產	8-5
8.9	地質和礦藏	8-7
8.10	勘探與開發鑽探	8-9
8.11	礦床抽樣方法和資料管理	8-12
8.12	礦產資源評估	8-28
8.13	礦產資源儲量估計	8-53
8.14	礦產儲量報告	8-67
8.15	盤點及儲備審計	8-68
8.16	環境	8-70
8.17	社區及政府事務	8-70
8.18	經營成本	8-70
8.19	資本成本	8-71
8.20	稅務	8-71
8.21	經濟評價和礦產資源儲量	8-71
8.22	礦山壽命	8-73



表

表 8-1	: Sossego 鑽探口概要	8-10
表 8-2	: Sossego 井下調查測量方法概要	8-12
表 8-3	: 用於化學分析的實驗室概要	8-16
表 8-4	: 適用於 Sossego 的銅礦和金礦標準	8-18
表 8-5	: 從銅的標準分析中獲得的 HARD 及 HRD 開發價值摘要	8-19
表 8-6	: 從黃金標準分析中獲得的 HARD 及 HRD 開發價值摘要	8-19
表 8-7	: Sossego 的銅和黃金的重複分析概要	8-21
表 8-8	: 鑽孔資料庫概要	8-22
表 8-9	: 對每種岩性類型密度的基本統計	8-24
表 8-10	: 參照岩性模型的單位元代碼	8-25
表 8-11	: 綜合基本統計資料長度設定	8-29
表 8-12	: 部門的定義 - 結構性趨勢	8-30
表 8-13	: 估計域定義	8-30
表 8-14	: 銅的複合材料的統計概要（加權長度）	8-31
表 8-15	: 黃金複合材料的統計概要（加權長度）	8-32
表 8-16	: 密度複合材料的統計概要（加權長度）	8-34
表 8-17	: 總銅相關圖模型綜述	8-37
表 8-18	: 黃金相關圖模型綜述	8-38
表 8-19	: 密度相關圖模型綜述	8-39
表 8-20	: Sossego 關於 10m*10m*8m 的模型定義	8-40
表 8-21	: Sossego 關於 10m*10m*16m 的模型定義	8-40
表 8-22	: 通過評估勘察總銅半徑	8-43
表 8-23	: 通過評估勘察金礦半徑	8-43
表 8-24	: 通過評估勘察密度半徑	8-43
表 8-25	: 通過額外評估勘察總銅半徑	8-44
表 8-26	: 通過額外評估勘察金礦半徑	8-44
表 8-27	: 通過額外評估勘察密度半徑	8-44
表 8-28	: 高產處理的定義	8-46
表 8-29	: 採礦模型中使用的材料類型的定義	8-53
表 8-30	: 用於礦坑優化的金屬價格和銷售費用	8-57



表 8-31	: 用於礦坑優化的加工成本及回收.....	8-58
表 8-32	: 受岩性坡角.....	8-59
表 8-33	: 選定為最終礦坑極限的礦坑外殼之 Whittle 結果	8-60
表 8-34	: Whittle 最終礦坑與作業設計之間的比較.....	8-60
表 8-35	: 現有礦山設備	8-63
表 8-36	: 現有礦山設備	8-64
表 8-37	: 用於邊界品位計算的值.....	8-65
表 8-38	: 礦山計劃的可變邊界品位戰略	8-66
表 8-39	: 在 2010 年 6 月 30 日的預計礦產儲量	8-67
表 8-40	: 經營成本	8-70
表 8-41	: 針對 Sossego 礦井的礦井壽命計劃 - 2010 年 3 月至 2021 年 12 月.....	8-74

圖表

圖 8-1	: Sossego 礦井的複雜位置.....	8-1
圖 8-2	: Sossego 廠房的簡化流程圖	8-3
圖 8-3	: Siqueirinho 礦坑的鳥瞰圖	8-4
圖 8-4	: Sossego 礦坑的鳥瞰圖	8-4
圖 8-5	: 歷史和預測冶金回收率.....	8-5
圖 8-6	: 過往和預計產量 - 礦石噸位 (DMT)	8-6
圖 8-7	: 過往和預計產量 - 銅品位	8-6
圖 8-8	: 過往銅精礦產量.....	8-7
圖 8-9	: Vale 2010 年報告的 Sossego 礦山的局部地質	8-8
圖 8-10	: Sossego 礦藏的鑽孔分佈.....	8-10
圖 8-11	: A) 在鑽機平台堆放等待運輸的岩芯。B) 使用岩芯取樣的設備	8-11
圖 8-12	: A) 現場鑽孔測量設施。B) 地質牆顯示可用於鑽孔測量.....	8-13
圖 8-13	: A) 岩芯庫房的總圖。B) 存儲岩芯的箱子	8-14
圖 8-14	: A) 紙漿及未加工的拒絕存放區總圖。B) 塑膠袋包含紙漿拒絕	8-14
圖 8-15	: 機械樣品製備架構 A) 由 Nomos 實驗室使用從 SOSD - 001 到 SOSD - 025 的鑽孔。Nomos 實驗室使用從 SOSD - 21 到 SOSD - 420 的鑽孔架構。來源於 Vale 內部 (2010 年)。	8-15
圖 8-16	: A) 機械樣品製備裝置的實驗室總圖。B) 旋轉分離器	8-16



圖 8-17 : Sossego 密度樣本的位置	8-23
圖 8-18 : 識別 Sossego 塊模型行業	8-25
圖 8-19 : 礦化模型，截面 603.520 E.....	8-26
圖 8-20 : 表示有限的未經加工處理的表面—非未經加工處理的岩石.....	8-27
圖 8-21 : 截面圖@ E 605469 ± 100 米：總銅	8-48
圖 8-22 : 平面圖 @ 150 米±30 米：金礦範圍 15（塊和複合材料）	8-49
圖 8-23 : 平面圖 @ 150 米±30 米：金礦範圍 15 塊和複合材料領域實際使用估計	8-49
圖 8-24 : Sossego 的分類架構	8-52
圖 8-25 : Sossego 分類：鹽和胡椒的影響	8-52
圖 8-26 : Sossego 分類：測量 - 推斷材料的聯繫	8-53
圖 8-27 : 考慮礦坑優化的最大坡度角	8-56
圖 8-28 : Siqueirinho 礦坑的礦坑坡	8-56
圖 8-29 : 國際市場上銅的價格的歷史行為和用於優化的長期價格	8-57
圖 8-30 : 國際市場上黃金價格的歷史行為和用於優化的長期價格	8-58
圖 8-31 : 銅和黃金的浮選回收率	8-59
圖 8-32 : 最優化的結果：未貼現現金流和淨現值	8-60
圖 8-33 : 比較礦坑設計及 Whittle 外殼 – Sossego 礦坑	8-61
圖 8-34 : 比較礦坑設計及 Whittle 外殼 – Pista 礦坑	8-62
圖 8-35 : 比較礦坑設計及 Whittle 外殼 – Siqueirinho 礦坑	8-62
圖 8-36 : 2009 年盤點結果	8-69
圖 8-37 : Sossego 敏感性分析	8-73



8.0 SOSSEGO 礦山

8.1 位置

Sossego 礦山採礦中心位於 Canaã do Carajás 西部 42 公里，巴西帕拉州的東南部分的 Carajás 區域（圖 8-1）。通向 Sossego 採礦中心的是 Parauapebas 小鎮的一條瀝青路。在 Carajás 和 Marabá 的商用機場提供其他的物流支援。

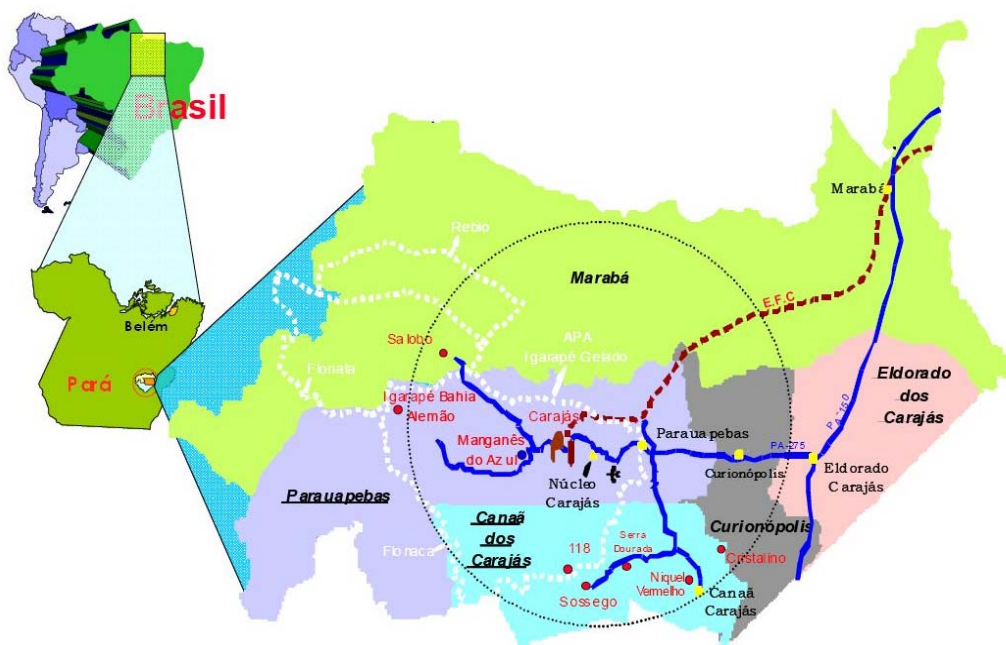


圖 8-1 : Sossego 礦山採礦中心位置

8.2 所有權

Sossego 礦山採礦中心的物業所有權 100% 由 Vale S.A 持有。

8.3 土地使用權和採礦權

該 Sossego 礦山採礦中心位於兩塊不同產權的土地上。被稱為 Sossego / Sequeirinho (DNPM 851.355/92) 的地區，參考 1995 年 3 月 10 日頒發的編號為 340 的勘探許可證。其中定義了一個 7140 公頃的八邊形。被稱為 Sequeirinho Sul (DNPM 851.148/92) 的地區，參考 1995 年 9 月 5 日頒發的編號為 1957 的勘探許可證。其中定義了一個 1560 公頃的四邊形。

巴西法律將地表及地下的所有權分離。一家礦業公司可以在沒有地表所有權的情況下，經營煤礦，經營礦山。在這種情況下，必須向地表所有者支付使用費。使用費的計算公式為 50% 的 CFEM（礦產資源經濟開發的補償），這是支付給政府。在 Vale 向 DNPM（巴西礦業監管機構）遞交年度礦業生產報告後，採礦權會每年進行更新。



8.4 基礎設施

Sossego 礦山將得到 Parauapebas 和 Canaa dos Carajás 小鎮，以及廣大來自 Canaa dos Carajás（40 里遠）的員工和承包商的支持。

該地區有鐵路及公路覆蓋。在 Carajás 提供定期的航班服務以及從 Sossego 到 Marabá 高速公路車程大約是 225 公里。大部分航班飛到首都巴西利亞，可以在現場添加柴油，並儲存於一個龐大的儲存設施中。

銅精礦是用卡車（40 噸）從 Sossego 礦山運到鐵路裝卸設施附近的城市 Parauapebas，距離礦山 85 公里。它是從那裡通過鐵路運到 870 公里的蓬達馬德拉港在聖路易斯海洋從那裡集中上船。

廢料堆和尾礦庫設施

該礦山廢料堆採用自下而上開發的標準化採礦程式。礦山周圍的地勢平坦，導致了巨大的廢料堆空間，廢料堆的高度較矮。整體的廢料堆傾斜度為 29°。通過傾倒 10 米高的電梯可以得到 37°的靜止角度。在每台接連的電梯之間有一張 10 米高的工作台。氧化物和硫化物都是以相同的形式處理。

在 Sossego 礦山採礦中心中有四個廢料堆。東南部的容量為 1.59 億 m³，西南部的為 4100 萬 m³，北部的為 1020 萬 m³，還有在 Sossego 的為 2260 萬 m³。

在 Sossego 礦山似乎有足夠的場所為礦山計劃和礦產儲量提供廢料堆和尾礦沉積支援。

礦加工

Sossego 加工廠位於主要粉碎機的西南以西約 4 公里，這是 Sequeirinho 礦藏南部的中軸線。Sossego 礦坑在該主要粉碎機以東約 1.5 公里。

其中，加工設施包括由四個主要部分組成：粉碎，研磨，浮選，精礦脫水。圖 8-2 說明了廠房的簡化流程。在技術報告《Sossego 礦山採礦中心的礦產資源與礦產儲量評估》中提供了對處理設施的全面描述。

該廠房在 2004 年 3 月委託的設計生產容量為 1500 萬噸／年。在可行性研究中所界定的生產速度是假設在 2004 年開始為 1350 萬噸，並逐步提高至 2005 年達到滿負荷生產。但是，實際上增產的速度較原來計劃為低，該廠房從未達到其原始設計的生產容量。自 2006 年以來，該廠房已實施了一系列的改進，計劃到 2010 年 3 月的設計生產容量將達到 1300 萬噸／年。

電源

一條 87 米長的輸電線為 Sossego 現場供電。該電力來源於 Tocurui，這是 Marabá 以北 200 公里的托坎廷斯河上一個 3800 兆瓦的發電站。

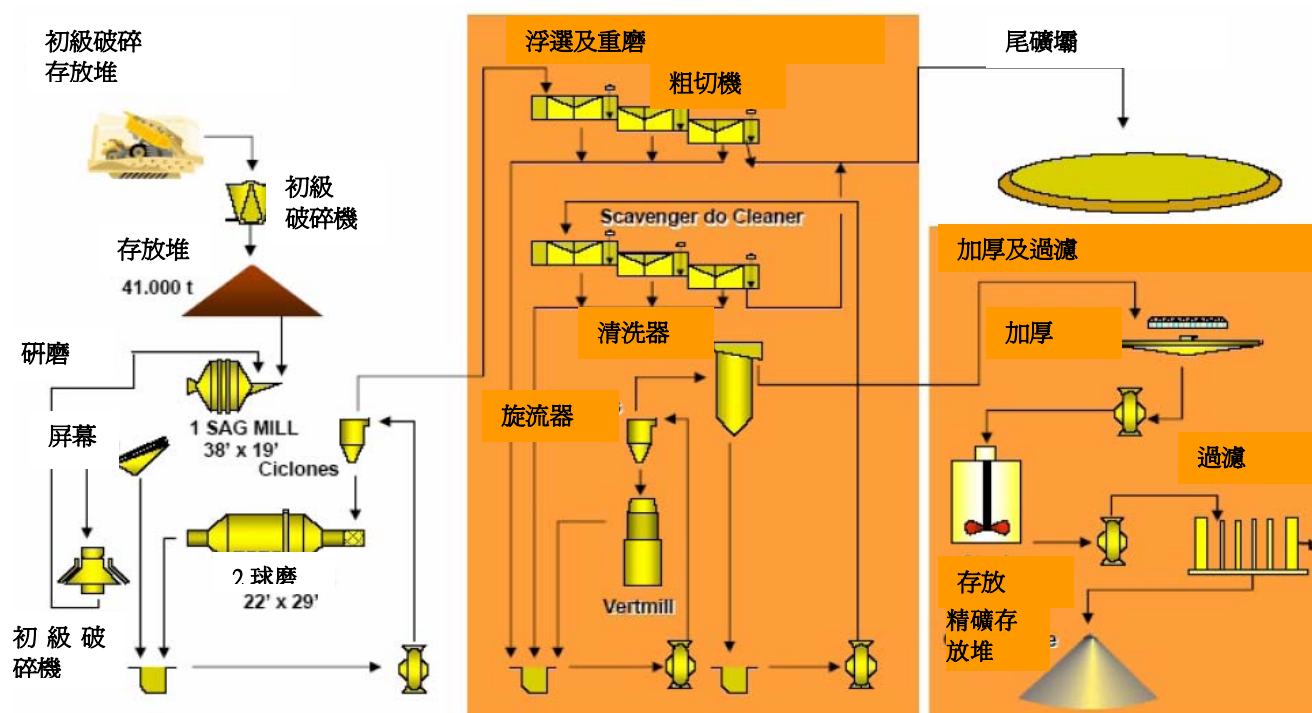


圖 8-2 : Sossego 廠房的簡化流程表

8.5 生產工藝和產品

Sossego 銅礦是由 Vale 第一個經營的銅礦項目，自 2004 年起生產銅精礦。Vale 在 2009 年生產了約 39.4 萬噸銅金精礦，平均品位為 29.7% 銅和 7.5 克／噸黃金。Sossego 採礦中心有兩個露天礦，名為 Sossego 及 Sequeirinho。

標準的卡車和鐵鏟在 16 米高的工作台上開採露天礦。合同採礦用於預先剝離，並在接觸氧化物及硫化物材料之間挖掘。經過鑽探和爆破后，以鋼索鏟車及前端裝載機鏟作挖掘和裝載。主要以 240 噸的貨車將物料運送到礦坑附近的廢料堆或到主要粉碎機。低品位礦石（Cueq<0.5%）是儲存在粉碎機附近及礦坑的北部供以後使用。該材料將被粉碎，並由傳送帶輸送至 4 公里外的集中器。2009 年的原礦產量大約為 1500 萬噸含 0.98% 的銅，這需要移走 4700 萬噸廢料。

該廠擁有名義上處理 1300 萬噸／年的能力並包含初級破碎，球磨，浮選和過濾。2009 年，工廠加工 12,659,763 乾噸數。銅精礦是由傳統的運輸卡車在平坦的道路（85 公里長）上運送至 Parauapebas 的，從那裡用火車運到聖路易斯港口（870 公里）。銅精礦運輸時的濕度為 9%。



圖 8-3 : Siqueirinho 礦坑的鳥瞰圖



圖 8-4 : Sossego 礦坑的鳥瞰圖



8.6 金屬回收率

目前在礦山計劃中進行的冶金回收以及估計礦產儲量的，相信在 2011 年至 2021 年的平均回收率約為 89%。去年的回收率降至 86.7%，符合當前對於加工低品位岩石堆的評估。圖 8-5 顯示在 2008 年及 2009 年達到的實際回收率和用於礦山計劃的預計值。圖中顯示回收率的下降與品位的下降有關。

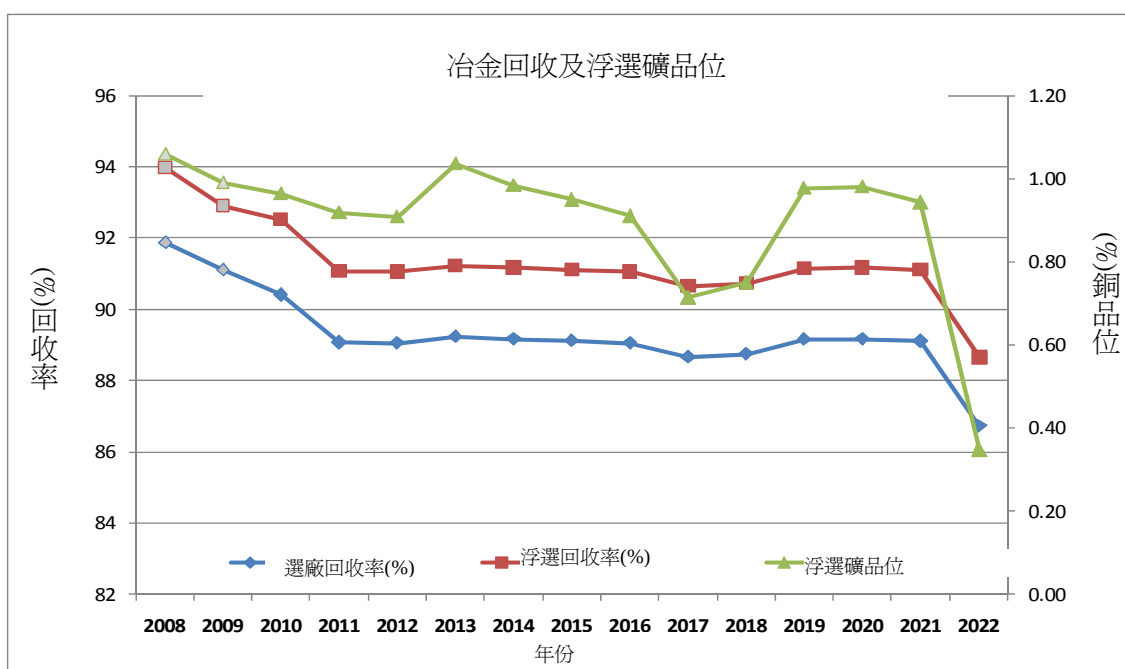


圖 8-5：歷史和預測冶金回收率

8.7 市場

Vale 目前擁有約 10 個直接客戶（冶煉廠）及 2 個交易商，由 Sossego 選廠生產的精礦供應。已訂立的合同的有效期為 5 至 10 年，我們有理由相信其中大部分合同將可獲得續約。目前所有有關銅需求的預測表明，在礦山的整個壽命，Sossego 的精礦需求較高。

8.8 過往產量

Sequeirinho 礦坑於 2002 年進行預開採，主要由於需要岩石材料提高尾礦庫壩等土方工程。選廠於 2004 年 3 月投產，於 2009 年達到有史以來的最高產能。圖 8-6 和圖 8-7 顯示 LOM 的過往及預計產量數據。



SOSSEGO 礦山

選廠於 2008 年及 2009 年的處理量分別為 12,348,506 dmt 及 12,659,763 dmt。根據目前 LOM 計劃，2012 年至 2021 年的計劃處理量將為 1,300 萬噸／年。圖 8-8 顯示 2004 年至 2009 年銅精礦的過往產量。

作為審計的一部分，部分 Golder 公司審計人員視察了選廠並審閱了自投產以來的歷史產量。Sossego 選廠採用獲認可及認證的成熟技術。根據產量報告，所有按設計工作的加工及成本十分合理。產量數據妥善記錄，並定期對資源模型及產量數據（品位控制、工廠）進行調整。

該加工廠房十分整潔，維護良好，並採用現代化和適當的程序控制。總體上呈現一種非常高效及精心設計的運作環境。程序控制使用現代化裝備儀器。該廠房管理妥善，Vale 具備營運管理的技巧。

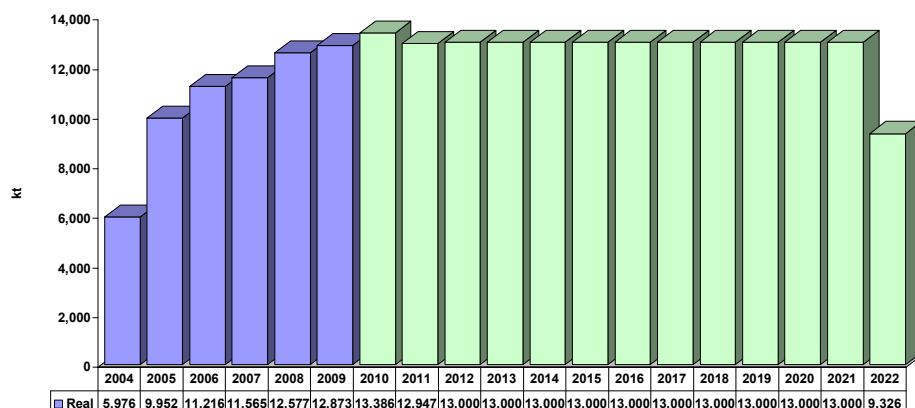


圖 8-6：過往和預計產量—鐵礦石噸位（dmt）

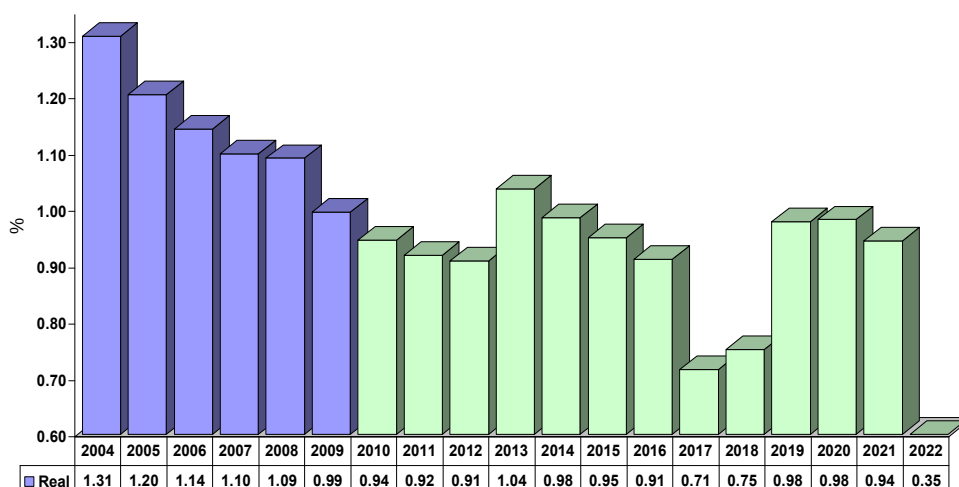


圖 8-7：過往和預計產量—銅的品位

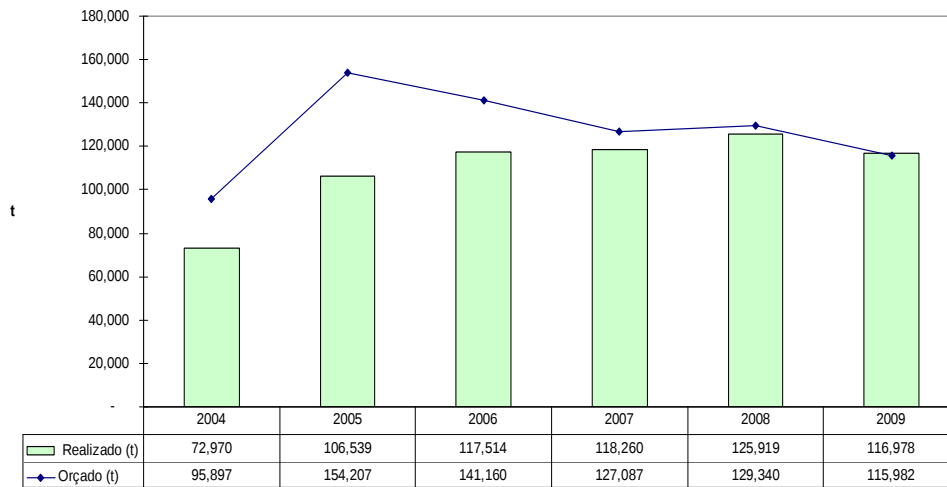


圖 8-8：過往銅精礦產量

8.9 地質和礦藏

區域地質

Carajás 礦區位於巴西帕拉州，並對應於晚太古代盆地變形為一個 S 型的形狀，呈西北偏西－東南偏東走向。這種形狀由若干個主要的西北偏西－東南偏東的輪廓線界定，如 Carajás 和 Cigano 左外側斷裂帶。也有一些東北及西北地區斷層系統橫切該區域。

Carajás 火山沉積層序主要由雙峰式火山岩，化學沉積物，包括條帶狀鐵（BIF）承載 Carajás 鐵礦床，火山碎屑和碎屑沉積。該盆地遍佈名為 Itacaiubas Supergroup，花崗岩，片岩的沉積及變質層序。它們使南部形成了新古複合礦山。

Carajás 單元是由太古代岩體侵入的，包括鈣鹼性 Plaquê Suite（27.7 億年），和鹼性花崗岩 Sossego 和 Estrela granites（25 億年）。這些單位在 Carajás 中的銅－金礦化有很強的相關性。有許多代的基性機構，包括一些後礦物脈。阿元古代 Proterozoic Suite（18.8 億年）的鹼性花崗岩，Carajás 花崗岩中央的（Cigano 和 Pojuca），也侵入 Carajás 序列。幾代幼小的基性岩牆橫切整個序列。

當地地質

該 Sossego 礦藏與一條 10 公里長的延東北至東南及急劇向南傾斜的區域構造剪切帶相連。一系列的銅金礦床與此結構相連，包括 Sequerinho，Sossego，Jatobá，Serra Dourada 和 Cristalino 礦床（圖 8-9）。

Sossego 礦床已被分成 4 個主要區域，從西到東地區分別為：Pista、Sequerinho、Baiano 及 Sossego 山，其中就大小而言，Sequerinho 礦床是最重要的。



SOSSEGO 礦山

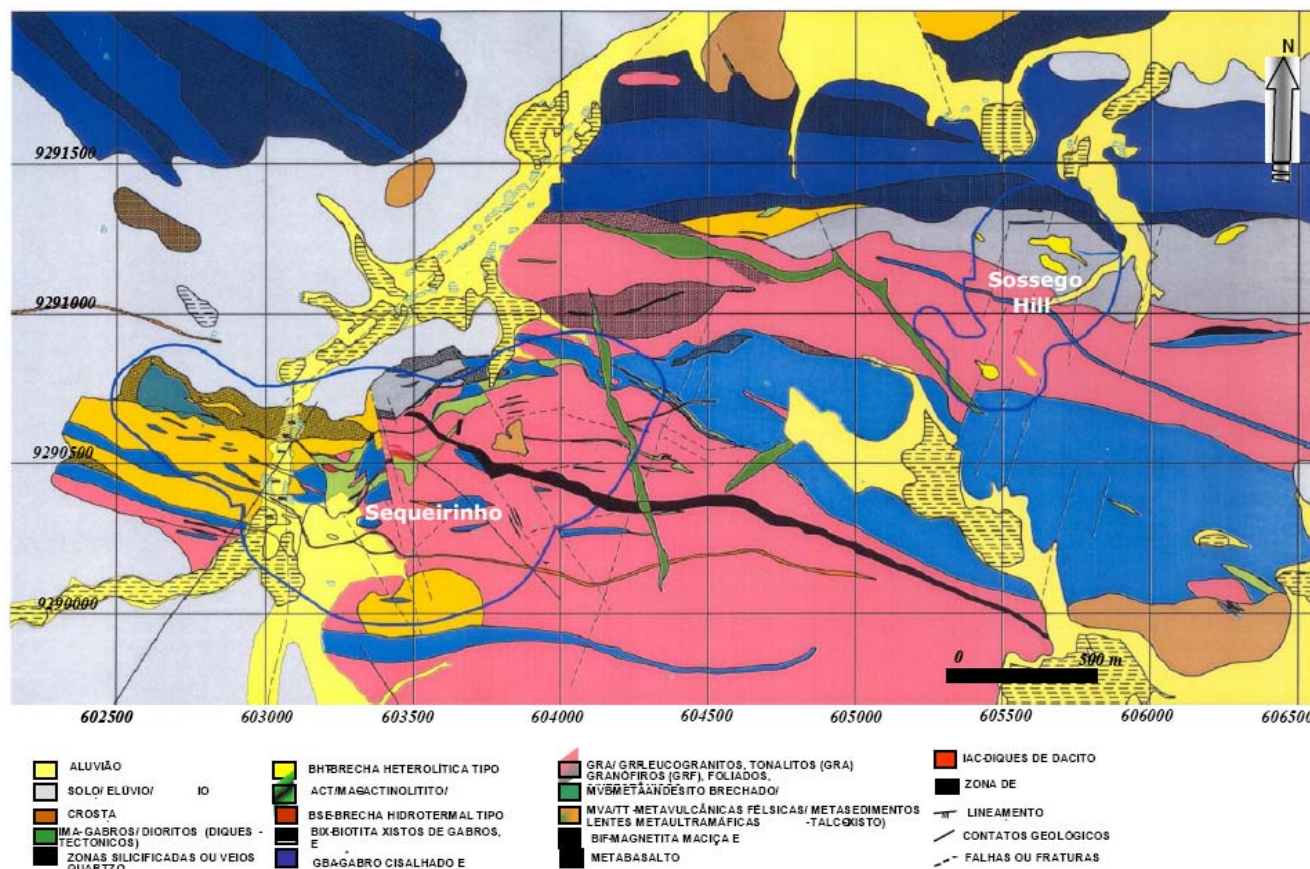


圖 8-9：Vale 的 2010 年報告中的 Sossego 礦山局部地質

Sequeirinho

Sequeirinho 由一個單一的和連續的礦化區域組成，弱礦化地區約 2000 米長，向西延長 1000 米。本礦藏位於 Sossego 山西南偏西約 700 米位置，總體地貌呈現約 40 米高的山體突出。

硫化物礦床具有 S 型的形狀，礦床盡頭呈西北偏西走向，中間部分呈東北走向。西部盡頭被稱為 Pista 領域，而東部部分稱為巴亞諾領域。礦化一般呈現一系列總厚度介乎 25 米至近 300 米的分平行礦體。從 70°S 到垂直在陡峭盡頭的凹陷處。礦床的中部凹陷處為局部向東西傾斜 45°。礦床中 Sequeirinho 及 Baiano 部分的東部過渡地區被一條西北偏北走向的輝綠岩岩脈分割。

Sequeirinho 的礦化受結構性影響，並分割出酸性火山岩，花崗岩和輝長岩圍岩單元。大部分的掛壁由一個花崗岩／英雲閃長岩，岩脈或殘餘鐵鎂質岩石組成的。下盤由 Carajás 火山的順序由一個尖銳的接觸面分隔礦化蝕變帶黑雲母片岩（當地酸性火山岩）。下盤邊界與 Sequeirinho 北部的在地形上幾乎是斷裂的，其特徵是黃銅礦－陽起石－磁鐵礦含量大幅減少及方柱石－黑雲石含量增加。



高品位的硫化物礦化發生在角礫岩，通常含有較豐富的銅礦及金礦附近的下盤和掛壁接觸的礦體，以及在交叉區域。角礫岩有黃銅礦矩陣和碎屑磁鐵礦，角閃石等岩屑。角礫岩區的周圍有一個低品位包膜，由不規則分佈的銅礦組成。銅及黃金具有良好的相關性。近表面氧化產生了類孔雀石和孔雀石。

Sossego 山

該 Sossego 山礦床是大環狀地貌的一部分，直徑約 100 米，海拔約 10 米。環狀結構的核心是一個中等至粗粒，粉紅色到深灰色的花崗岩，由輝長岩局部切割。在 Carajás 酸性火山岩的接觸面，花崗岩具有細粒度的紋理（花斑狀的紋理）形成寬度達 200 米的花斑岩，其特徵是有藍眼睛的石英和鉀長石石英。這種花斑岩通常與花崗岩有一個過渡接觸面，表明細顆粒紋理與邊界相連。該整個地形由 Sossego 山及 Curral 兩個兩個主要富含黃銅礦的角礫岩橫切。

礦化發生在三大區；類環狀，在北部的礦化區直徑 200 米的 Sossego 角礫岩；Curral 角礫岩以南 400 米延伸 80 米，Curral 及 Sossego 角礫岩之間的一個不規則脈帶。Sossego 山及 Curral 的角礫岩是異質的，矩陣支持花崗岩碎塊、礦化碎塊、花崗岩及由鉀長石水熱蝕變形成的輝長岩，方解石和不同比例的綠泥石，磁鐵礦，磷灰石和黃銅礦。該岩性角礫岩亦可發生於不規則水力壓裂可變寬度（從幾厘米到近 20 米），往往使近純黃銅礦脈產生分支或終止。網狀物和彌散性礦化同樣存在。高品位礦化和無礦地區之間的接觸面較為陡峭。黃銅礦是主要的含銅礦物。

8.10 鑽井勘探與開發

Golder 公司獲得了鑽洞 D - 278 到鑽洞 D - 410 的相關恢復數據。核心平均回收率為 98%。鑽孔的直徑主要是四十七點六毫米（NQ），而在較深的層段鑽孔的直徑會變成三十六點五毫米（貝）。由於 Sequerinho 礦場的地質特徵，鑽導的方向是向北傾角為 50°~60°，而在 Sossego 的鑽孔方向則是偏東北方向傾角為 50°~60°（圖 8-10 所示）。

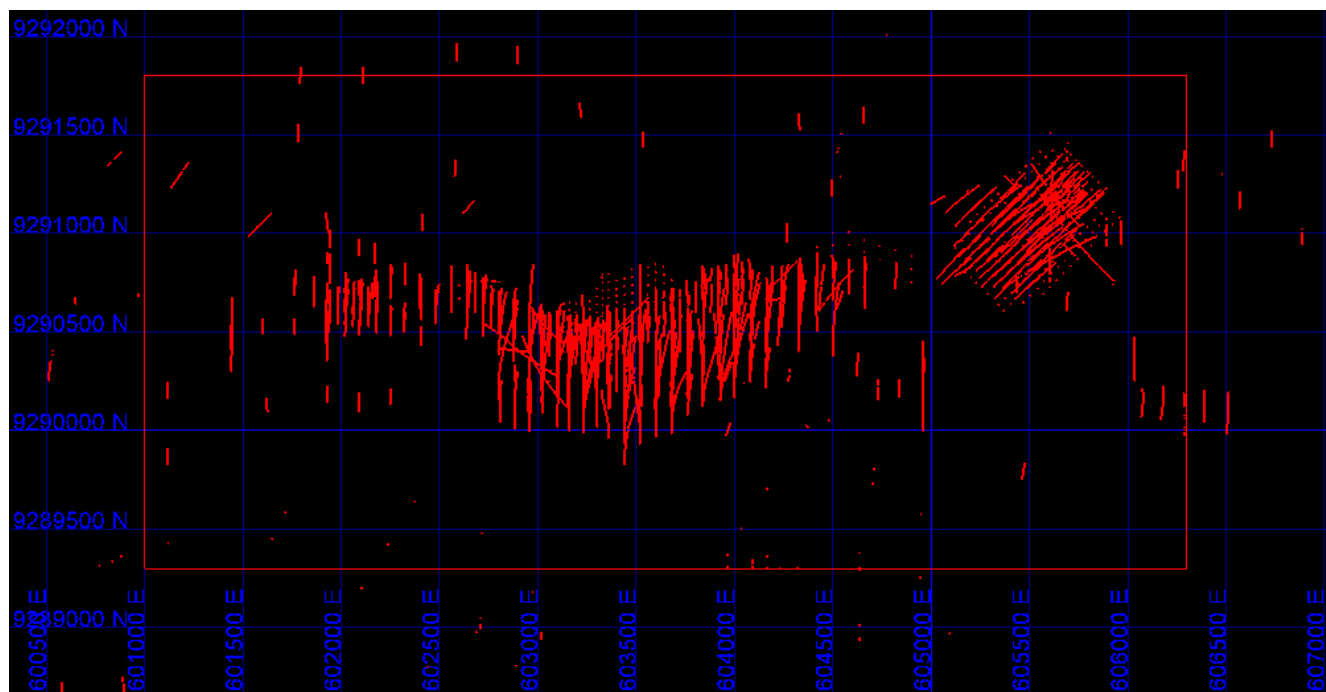


圖 8-10 : Sossego 礦場的鑽孔分佈

表 8-1 分別總結了在 Sossego 現有金剛石礦的鑽孔的相關數據和反循環鑽孔的相關數據。

Golder 公司參觀了 DDH 鑽機平台，正在鑽探 FD - 440 鑽洞，以觀察當前鑽井實踐。目前來說，所進行的鑽井實踐都是良好的，還沒有觀察到重大的問題（圖 8-11A 和圖 8-11B 所示）。

表 8-1 : Sossego 所有鑽孔的概況總結

鑽孔						時段	
從	到	類型	數字	樣本數	長度	從	到
SOSD-001	SOSD-071	DDH	66	24,219.00	24,751.05	1997 年	1998 年
SOSD-072	SOSD-150	DDH	72	22,025.00	31,628.92	1998 年	1999 年
SOSD-151	SOSD-320	DDH	172	44,742.00	65,011.57	1999 年	2000 年
SOSD-321	SOSD-420	DDH	100	15,990.00	21,497.52	2000 年	2003 年
SOXD-001	SOXD-020	DDH	20	640.00	624.42	2002 年	2003 年
		總數	430	107,616.00	143,513.48		
SOSD-421	SOSD-427	DDH	7	1,699.00	1,834.60	2005 年	
SOSP-01	SOSP-70	RC	24	1,761.00	3,521.00	2001 年	2002 年
SOXP-001	SOXP-505	RC	399	13,307.00	13,106.00	2002 年	2003 年
	累計		860	124383	161,975.08		



圖 8-11 : a) 岩心堆放在鑽機平台上等待運輸。b) 進行土芯取樣的設備

地形

通過使用全方位測量設備以獲得領坐標，配有不同於地質學的一種可視的驗證程序。

這種在 Sossego 應用的地形測量方法被認為是恰當的。

井下調查

採用了以下三種不同的井下調查方法：

- DDI-Fotobor 方法；在 3 米層段內採用此方法。
- Maxibor 方法；在 3 米層段內採用此方法。該步驟分別測量井上和井下兩個數據，再求得這兩項數據的平均值，得到最終的數值。
- 使用陀螺儀；在 30 米層段內採用此方法。該步驟分別測量井上和井下兩個數據，再求得這兩項數據的平均值，得到最終的數值。

用於井下調查的 QAQC 標準允許井底的預期坐標與最終坐標的最大誤差小於 2.0%。

根據 Sossego 報告顯示，由於操作困難，以下幾個鑽洞沒有可靠的井下調查：SOSD - 32 至 SOSD - 34, 37, SOSD - 40 至 SOSD - 42, SOSD - 45 至 SOSD - 48, SOSD - 50 和 SOSD - 51。這些鑽洞的偏差是使用周圍鑽洞的數據偏差估算得來。鑽洞 SOSD - 166 由於具有較高的水平角度偏差，因此該洞的數據是利用建模的方法獲得而不是採用克里格方法。

表 8-2：Sossego 礦場井下調查測量方法概要



方法	鑽孔		總數量	所佔比例
	從	到		
DDI	SOSD-001	SOSD-025	25	13%
DDI	SOSD-027	SOSD-028	2	
DDI	SOSD-072	SOSD-098	26	
陀螺儀	SOSD-099	SOSD-420	321	77%
MAXIBOR	SOSD-026		1	10%
MAXIBOR	SOSD-029	SOSD-071	42	

由於並無進行實際井下調查，所有的鋼筋混凝土鑽孔只有理論的測量值。Golder 公司並不認為這是一個至關重要的問題，因為這些鑽孔主要分佈在短距離的氧化層。

井下測量的方法也被認為是恰當的，也沒有觀察到異常的程序。

8.11 礦藏的抽樣方法和數據管理

鑽石鑽孔核心 (DDH) 組成了地質建模的主要樣本類型和 Sossego 礦藏的礦產資源儲量估計。鑽探的爆破孔 (BH)，只是被用作短期規劃。

Golder 公司審查了在 2010 年模型中使用的鑽井抽樣程序。在 Sossego 這樣的礦化帶，使用的樣品長度一般是 1 米，而在腐泥土或在貧瘠地區一般是 4 米。樣品的長度的選擇一般是根據礦石類型，形狀和／或風化程度。

鑽孔測量

Vale 的地質學家使用內部的岩芯記錄表進行鑽孔測量。地質學家主要記錄礦石的蝕變、礦化和每間隔 1 米的紋理特徵變化，一般以 10 CM 為定義單位。鑽孔測量必須具備較高的精確度。鑽孔測量必須在現場寬敞明亮的地方進行（圖 8-12A）。

設有一幅優秀的地質牆，顯示所有岩化，改變和礦化的特徵，以方便地質學家在測井活動中查看（圖 8-12B）。



圖 8-12：一) 鑽孔測量現場。二) 可用來進行測井參考的地質牆

抽樣

DDH 的岩心被收集後存放在木箱中。然後岩心被轉移到進行地質鑽井測量的地方。測量之前，對所有岩心進行拍照。測量後，使用電鋸將岩心一分為二。由 Vale 的地質學家將岩心進行切割的位置進行標記。

在礦化帶間隔 1 米處進行岩心的採樣，而在貧瘠區則選在 4 米間隔處進行採樣。樣品長度則是根據礦石類型、形狀和／或風化條件。其中一半的岩心會被發送到分析實驗室進行化學分析，其餘的一半被儲存在現場。

鑽井測量程序嚴格按照行業標準進行，Golder 公司認為程序的選擇是適合該礦藏類型的。

樣品保存

鑽芯貯存設施是由項目周邊的專門存儲鑽芯的一系列倉庫組成。不合格的岩心用木製托盤裝載存放在金屬板上。當 Golder 公司實地考察的時候，存放岩心的棚屋被暴風吹毀，正進行重建。預計重建工程將於 2010 年年中完成（圖 8-13）。



圖8-13：一）存放岩心的棚屋。二）岩心存儲盒

礦漿存放在紙質信封中存儲在分組的塑料袋中，而不合格產品直接存儲在塑料袋中。兩者被有序地放在可識別的盒子中。所有的不合格品都存儲在一個特製的倉庫中。圖 8-14 顯示了存儲條件和存放岩心和不合格岩心的存儲設施。這些倉庫都是井井有條的。



圖8-14：A）礦漿和不合格品的存放區。B）不合格品被直接存放在塑料袋中

岩心和樣品儲存設施都是可以接受的。



樣品製備和分析

機械化樣品製備和 DDH 岩心分析都是在位於現場的 Vale 實驗室進行的。抽樣程序總結如下（圖 8-15）。

- 切割：用電鋸將岩芯一分為二，然後進行包裝，標籤，被送往機械化準備階段。每個樣品都貼有條形碼。
- 乾燥：樣品在 105°C 的電烤爐內進行乾燥。
- 初級破碎：利用顎式破碎機將整個樣品粉碎成大小約<6.35 毫米顆粒。
- 二次破碎：利用渦輪破碎機繼續將樣品粉碎成<4 毫米的粒子。
- 分裂：利用一個瓊斯分離器將樣品分成四份。
- 粉碎：將樣品粉碎至 95%的部分都小於 0.105 毫米。
- 樣本同質化。
- 分裂：用旋轉分離器將樣本分為每 250 克一份。其餘的材料將作為礦漿不合格品存儲。
- 最後樣本裝在一個貼有條形碼的紙信封內，並送往實驗室進行化學分析。

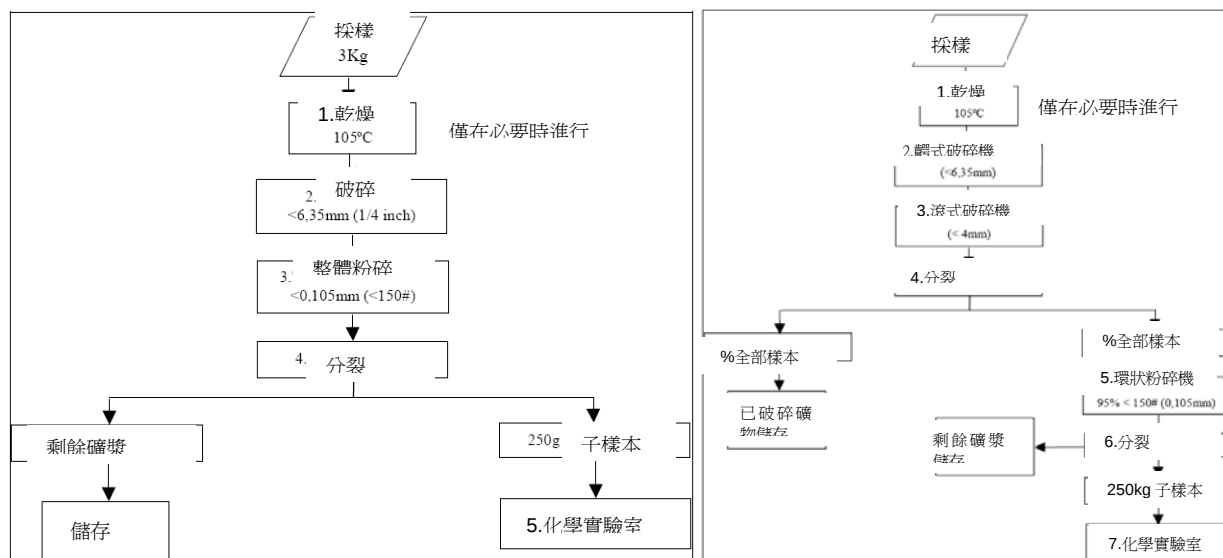


圖8-15：機械化樣品製備架構A) Nomos 實驗室應用的鑽孔 SOSD - 001 SOSD - 025。

B) Nomos 實驗室應用的鑽孔 SOSD - 21 到 SOSD - 420 的架構。來自 Vale 實驗室內部 (2010 年)。



已經建好樣品製備設備的鏈路。所有步驟從樣品的接收到樣品轉移到準備設施到最後到化學實驗室分析，都是使用條形碼閱讀器登記識別的。

Golder 公司審查了用於機械化樣品準備的實驗室（圖 8-16），認為具有良好的水準。

常規化學分析包括原子吸收、銅、銀及螢石。利用火試金方法進行分析。據 Vale 的員工表示，在不同時期，曾使用不同的實驗室作樣品分析。表 8-3 總結了用於進行化學分析的實驗室分類。

表 8-3：用於化學分析的實驗室概括分類

鑽孔		實驗室名稱
從	到	
SOSD-001	SOSD-006	Nomos, Rio de Janeiro
SOSD-07A	SOSD-077	Nomos, Parauapebas
SOSD-078	SOSD-320	CVRD, Rio de Janeiro (GAMIK)
SOSD-321	SOSD-420	Lakefield Geosol, Rio de Janeiro



圖 8-16：A）實驗室機械製樣的設備。B）旋轉分離器

Golder 公司認為當中的樣品製備和化學分析程序，均符合礦產資源儲量估算的相應標準



質量保證和質量控制 (QAQC)

質量保證 (QA) 系統是以確保採樣和分析測試結果具有高質量的系統及一系列程序。質量控制 (QC) 是用於為了保證樣品製備和化學分析而準確的數據。

根據不同的鑽探活動所需的檢測，Lakefield、Bondar 或 GAMIK 實驗室被視定為次要實驗室。

Golder 公司從 Sossego 實驗室獲得了鑽孔 SOSD - 01 到 SOSD - 420 的質量控制數據。為進行此次審計，Golder 公司對質量保證程序和銅和金的分析所得質量控制數據分別進行了獨立的審查。

程序

根據 Sossego 實驗室提供的文件，質量保證質量控制程序需要插入一個空白，並且每 43 個常規樣品（一批次）需插入一個標準。在鑽探活動結束時，複製品會作為特別批次被送往二級實驗室。

Golder 公司收到兩份報告。第一個是「來自 Sossego 實驗室關於分析質量控制項目的一份綜合報告 2001 年 4 月」，它是有關 2000 年 QAQC 方案的一份報告。二是「2002-2003 質量控制報告」，該報告詳細分析了 2002-2003 鑽探活動的成果以及詳細介紹對異常樣本所採取的行動。

2000 年 Sossego 實驗室展開了一項旨在驗證分析數據存在的研究。本研究將數據分為案例一：(SOSD - 01 到 SOSD - 77，NOMOS 實驗室) 和案例二 (SOSD - 78 到 SOSD - 410，GAMIK 實驗室)。主要研究結果表明，對於來自 NOMOS 實驗室的銅的結果偏高了 8%，而金的結果是可以接受的。對於案例二來自 GAMIK 實驗室 <4.55% 的銅結果是合格的，> 4.55% 的銅數據較精確，但略有偏差。金的相關數據是可以接受的。在檢查時已經考慮到使用複製礦漿，也不需要對抽樣程序作出審查。

進行常規分析時，不能同時製成複製品。階段一，作為二級實驗室的 Gamik 分析了 392 個樣本。第二階段對於 2002-2003 的質量保證演練活動設置兩個組：5% 的 Gamik 樣本被送往二級實驗室，5% 的樣例 > 0.2% 的銅分別被送往 3 個實驗室，GAMIK、Lakefield 和 Bondar Clegg。這些樣品是從礦漿不合格品中製成。

這種不規則的質量保證程序並不是一種好的做法，質量保證應該與常規分析相配合。一個適當的質量保證必須考慮到礦漿的插入和粗製複製品，複製品的領域，表層和標準。實驗室測試時是不應該知曉樣本來源。



標準

標準樣品由「已知」級別的材料組成，當一批次樣品中含有用作實驗室分析的樣品時，這個級別標準可用作確定其他分析結果的準確性。標準樣品也被稱為標準物質（標準物質）。

Sossego 實驗室在兩種情況下對物質的考察採取兩套標準。表 8-4 所示，Sossego 實驗室用九個標準來評估數據的準確性。使用標準偏差值作為驗收標準。根據 Bondar Clegg, Gamik, Lakefield - Geosol 等實驗室的分析獲得標準預期值。每個實驗室針對每個標準採取 10 個樣品進行了分析。所取得的結果數據是從 Vale（2003 年）獲得的。

在建構標準的過程中，使用相同的實驗室作常規分析，被認為不是一個好的做法。建議在進行常規分析時，除了目前考慮的實驗室外，多使用其他不同的實驗室。

表 8-4：Sossego 實驗室使用的關於銅和黃金的標準

材料	標準	銅 (%)		金（百萬分之一）	
		平均值	誤差	平均值	誤差
硫化物	P1G	4.600	0.1100	1.200	0.1400
	P2G	0.890	0.0059	0.300	0.0330
	P3G	0.420	0.0240	0.100	0.0072
	P4G	0.069	0.0005	0.020	0.0028
	P5G	2.700	0.0700	1.000	0.1300
氧化物	P11G	3.300	0.1100	0.900	0.0610
	P12G	1.370	0.0140	0.600	0.0850
	P13G	0.415	0.0015	0.100	0.0110
	P14G	0.135	0.0021	0.030	0.0032

在進行所有鑽探過程中，同時進行標準分析。

精度是通過總值平均衡量計算的。如表 8-5 所示，平均銅硬值均低於 10%，顯示精度在可接受的範圍。這也可以觀察到在累積硬值圖中，針對所有的標準，90%的樣品的硬值都低於 10%，都是可接受的精度。

表 8-6 所示金的結果。HARD 值通常大於 10%，有的超過了 20%，顯示該元素的精度不如銅。累積的 HARD 值，顯示金的精度較差，雖然這種結果可能由於其礦化模式（金屬塊），因此觀察到的精度水平是可以接受的。

根據平均的 HRD 值衡量準確度。表 8-5 和表 8-6 分別總結了銅和黃金的測試結果。也顯示了銅的正面和負面的偏差。平均的 HRD 值在-5%至 3%。銅標準 P1G 鑽洞 D51 - 100，D101 大孔鑽 P2G - 278 顯示了一個一致的正偏差，使樣本大多是 0%以上的 HRD 線。



對於黃金，結果表明輕微到明顯的偏差。HRD 平均波動值在-26 到 66%之間波動。鑽洞 D51 – 100 的 P1G 黃金標準，鑽孔 D51 – 100 的 P2G 標準，和鑽孔 D279 – 420 的 P2G 標準，展現出一致的負偏差，說明存在低估的黃金價值。另一方面，鑽洞 D101 - 278 的 P4G 標準，鑽洞 D279 - 420 的 P4G 標準和鑽洞 D101 - 278 的 P14 標準顯示了一致的正偏差。

表 8-5：銅的 HARD 值和 HRD 值的標準分析總結

標準	樣品數	HARD 平均值 (%)	HRD 平均值 (%)	偏差 (%)	鑽孔
P1G	16	2.66	2.57	5.39	D51-100
	123	3.05	-0.62	-0.28	D101-278
	20	4.96	-3.38	-5.33	D279-420
P2G	19	1.74	0.41	0.95	D51-100
	228	3.85	-0.35	2.22	D101-278
	18	7.27	-4.01	-3.56	D279-420
P3G	206	3.87	-0.54	1.42	D101-278
	18	4.59	-3.44	-5.42	D279-420
P4G	383	6.68	-0.45	18.44	D101-278
	118	7.43	1.72	67.04	D279-420
P5G	98	5.70	-2.37	-1.07	D101-278
	13	6.90	-4.70	-5.58	D279-420
P11G	11	3.68	-1.48	-2.29	D101-278
	2	1.47	1.47	3.03	D279 - 420
P12G	13	1.97	0.52	1.18	D101-278
P13G	19	12.19	-3.93	6.79	D101-278
P14G	45	9.32	-1.05	66.58	D101-278

表 8-6：黃金的 HRD 值和 HARD 值標準分析總結

標準	樣品數	HARD 平均值 (%)	HRD 平均值 (%)	偏差 (%)	鑽孔
P1G	15	15.75	-15.75	-26.50	D51 - 100
	122	17.99	1.12	16.11	D101- 278
	16	14.12	-3.33	2.52	D279 - 420
P2G	225	16.56	-3.16	9.19	D101- 278
	18	27.56	-16.79	-11.39	D279 - 420
P3G	12	17.87	-5.91	-3.33	D51 - 100
	192	13.60	10.49	34.79	D101- 278
	15	12.36	-5.98	-8.07	D279 - 420
P4G	32	66.45	66.45	776.56	D101- 278



	27	23.07	15.22	81.48	D279 - 420
P5G	97	17.10	5.23	26.10	D101- 278
	10	14.49	-8.37	-11.95	D279 - 420
P11G	11	16.54	-5.49	-3.64	D101- 278
	2	26.75	-26.75	-40.44	D279 - 420
P12G	12	26.55	0.15	0.09	D101- 278
P13G	5.	17.79	10.73	54.00	D51 - 100
	16	9.75	-2.20	-1.25	D101- 278
P14G	11	51.12	38.40	696.97	D101- 278

在某些情況下，缺乏數據導致統計分析是不具有代表性的。據 QAQC 數據庫顯示，對 1350 個銅的標準樣品進行了測試，數量相當於總樣本的 1.15%，也對 838 個黃金樣品進行了檢測，樣品數約佔總樣本數的 1.5%。

標準樣本顯示了可接受的準確度和精確度。可以發現一些微小的偏差，但相信這些偏差將不會嚴重影響支持礦物資源數據的質量及代表性。

坯件

毛坯樣品是預期等級為零級的材料，用於發現製造樣品設備，實驗室設備，或試劑出現的污染。

Golder 公司收到有關鑽洞 SOSD - 101 到鑽洞 SOSD – 420 的銅和黃金的毛坯樣品分析結果。分析表明存在異常高值。這可能是由於樣品或實驗室污染或選取的樣品並不適合用作毛坯樣品造成。Sossego 分析認為，這些異常值是由不匹配的情況造成。

Vale 的地質學家指出，在發現毛坯樣品出現異常值時，他們對樣品和標準進行重新分析。

副本樣本

對副本樣本進行了一系列銅金分析。包括由相同實驗室進行的內部副本樣本化驗，以及由另一家實驗室進行的外部副本化驗。以下分析報告是關於送到另一家實驗室進行的外部樣本副本化驗。以下分析報告關於外部樣本副本。

2004 年，一組佔由 Gamik 實驗室（主實驗室）化驗的銅樣本 5% 的樣本被送到 Lakefield 實驗室（副實驗室／外部實驗室），以檢測兩個實驗室之間的化驗偏差。該等樣本由 Gamik 實驗室分為 250 克的小份進行分析。結果顯示，平均半絕對半相對值（簡稱 HARD 值）的平均值約為 7%，具有合格的精確性和可重複性。沒發現顯著偏差，平均 HARD 值偏差小於 1%。



一般情況，銅礦漿副本合格的精確性為平均 HARD 值小於 10%。且在副本分析中沒有顯著偏差。發現金樣本的精確性較差，平均 HARD 值高於 10%。平均 HARD 值有輕微偏差，為-2%~-7%。

表 8-7：Sossego 礦銅金樣本副本分析總結

元素	樣品數量	平均 HARD (%)	平均 HARD 偏差 (%)	平均偏差	精確性 (83.4%)
銅	731	7.09	-0.67	0.01%	25.4
銅	560	1.14	-0.13	0%	4.6
銅	1141	9.43	-1.72	0.01%	33.4
金	282	10.22	-2.37	-0.01 ppm	30.7
金	842	32.33	-6.78	0.01 ppm	83.4

所獲得銅樣本的精確性結果合格，而金樣本符合預期，是由於其礦化模式（結塊或細粒）。

數據庫

Sossego 礦採用了 SOL 資料庫管理平台收集所有的地質資訊。該資料庫有一套適用的安全程式，包括資料備份和訪問限制，以保證電腦發生故障情況下的資料質量。有專人負責所有資料輸入和數據庫管理。

2010 年 7 月 22 日，Sossego 礦人員向 Golder 公司提供了下列文件，其中包括創建 2010 年地質模型所需的資料。

- SSDATA.CSV – 銅複合數據；
- HEADER_AUDIT.csv – BHID 數據；
- SURVEY_AUDIT.csv – 測量資料；
- ASSAYS_AUDIT.csv – 化驗數據；
- LITHOLOGY_AUDIT.csv – 地質數據；
- MODELO_16_SOS.txt 及 MODELO_8_SOS.txt – 塊體模型文件；
- Vert_Min_Seq_Sos_2010.3DR – 岩性解釋垂直剖面；
- Horz_Min_Seq_Sos_2010.3DR – 岩性解釋水平剖面；
- 2008 地表地形；



- 2008 岩性線框模型；
- DENSITY_AUDIT.csv – 密度模型

數據庫中進行的所有核對及分析、地質模型和品位估計均以該資料為基礎。表 8-8 總結了從鑽孔數據庫載列的表中所獲得的資料。

表 8-8：鑽孔數據庫總結

資料庫表	全資料庫	
	鑽孔	長度（米）
井口	1,216	194,695.90
測量	1,172	153,033.59
岩性	1,049	192,865.15
化驗	924	134,797.00

所有與鑽孔有關的資料，例如分析證書、測量資料等都被轉化為電子檔案。在現場也能獲得紙質副本。

數據庫驗證

為了保證所有數據庫中鑽孔資料的一致性，Golder 公司審查並檢驗了數據庫的內部完整性。將井口、測量、化驗及地質等資料庫表導入 Golder 公司的 Datacheck©軟件進行檢驗處理。通過分析，發現代碼帶有 PX-**首碼的鑽孔有幾處不一致。審查結果發現：

- 8 個鑽孔在化驗表中層段長度不準確；
- 23 個鑽孔在化驗表中長度超過實際長度；
- 292 個鑽孔在化驗表中沒有資料；
- 4 個鑽孔在岩性表中層段長度不準確；
- 167 個鑽孔在岩性表中沒有資料；
- 5 個鑽孔角度測量偏差較大（兩次連續測量偏差 $>10^{\circ}$ ）；
- 4 個鑽孔方位角測量偏差較大（兩次連續測量偏差 $>10^{\circ}$ ）；
- 155 個鑽孔中有 6 個鑽孔井下測量的間隔距離超過推薦的 50 米；
- 3 個鑽孔的傾角偏差過大（兩次連續測量偏差 $>10^{\circ}$ ）。



密度

Sossego 礦床的密度樣本包括從整個礦床採集的約 60000 件樣本，如圖 8-17 所示。對含礦樣本和無礦樣本都進行了測量。由於孔隙度和滲透性不同，所以從表層土和從基岩採集的樣本所獲得結果也不同。岩芯中表層土樣本的比重，採用蠟封水浸方法。

密度測試流程記錄在 Vale 的流程文件中（2010）。

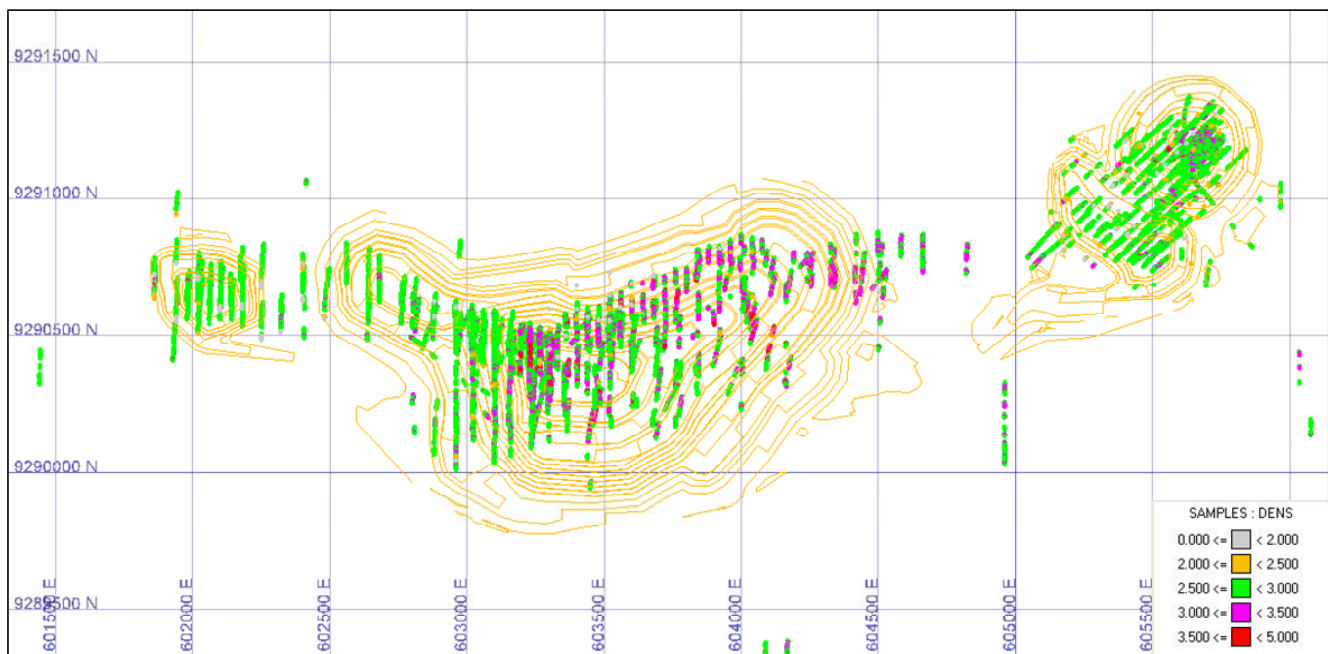


圖 8-17：Sossego 礦密度採樣位置

確定基岩密度所採用的方法是分別測量分樣的乾重和浸在水中的重量。

在進行該流程之前不對樣本進行乾燥，但由於樣品孔隙度和滲透性都較低，乾燥不會顯著影響樣本乾重。Vale 在 Alemao 礦對其進行了試驗，結果發現在 105°C 溫度下使樣本乾燥 14 小時，樣本重量最多發生 0.15% 的變化，變化不明顯。

對密度資料進行了基本統計，計算出每種岩性類型的密度值，表 8-9 列出了結果。結果顯示，風化岩石（INT=2.38 g/cm³）和完整岩石（INT 大於 2.64 g/cm³）之間的平均密度值有顯著差異。



表 8-9：每種岩性類型密度的基本統計

岩性	代碼	測量數量	最小值	最大值	平均值	標準差	方差	變化系數
無	-1	2	1.89	2.71	2.63	0.241	0.058	0.091
INT	0	1,876	1.15	3.82	2.38	0.460	0.212	0.193
GRA	1	12845	1.71	4.40	2.76	0.139	0.019	0.050
GRF	2	6,450	1.92	4.11	2.79	0.132	0.018	0.047
BIX	3	3,904	2.28	4.28	2.81	0.110	0.012	0.039
GBA	4	8157	2.00	4.44	2.97	0.140	0.020	0.047
ACT	5	7598	1.65	4.43	3.09	0.254	0.065	0.082
BHT	6	2,844	2.15	4.20	2.95	0.174	0.030	0.059
BSO	7	382	2.47	4.13	3.24	0.281	0.079	0.087
BSE	8	1,951	2.05	4.36	3.28	0.256	0.066	0.078
TON	9	209	2.43	3.21	2.83	0.131	0.017	0.046
MVA	10	12976	1.81	4.08	2.73	0.094	0.009	0.034
TTX	12	361	2.11	3.45	2.88	0.123	0.015	0.043
IMA	16	98	2.73	3.50	2.95	0.132	0.017	0.045
IAC	17	169	2.20	2.95	2.71	0.081	0.007	0.030
MAG	21	654	2.46	4.49	3.61	0.302	0.091	0.084
ZCS	22	5	2.62	2.68	2.64	0.021	0.000	0.008
CLX	23	3	2.62	2.74	2.68	0.049	0.002	0.018
	總計	60484	1.15	4.49	2.86	0.250	0.062	0.087

Golder 公司認為確定密度所採用的方法合理，且所獲得的結果和資料數量符合礦業行業標準，可以獲得正確的礦床密度特徵。

地質建模

地質模型包括兩個主模型，岩性模型和礦化模型（或礦石品位殼模型）。兩個模型都按下列程式建立：

- 根據有大多數岩性代碼的 2 米組合資料庫，並採用 8 米最小寬度，對南北向和東西向垂直剖面進行地質解釋。
- 根據解釋多邊形建立一系列實體。這些實體被切割成 8 米水平層段，與台階頂底高度相一致。
- 根據「最終多邊形」資料，對多邊形修改和修正，生成 8 米實體。
- 採用這些實體生成 10×10×8 米尺寸塊體。在某個塊體含有兩個或以上岩性代碼時，需採用優先值確定塊體代碼。採用 Gemcom 軟件建立地質模型。



表 8-10 列出了模型中包含的岩性單元。

表 8-10：岩性模型中包含的岩性代碼

縮寫	代碼	岩性
GRA	1	花崗岩
GRF	2	花崗火成岩
BIX	3	黑雲母片岩
GBA	4	輝長岩
ACT	5	陽起石
Breccia (角礫 岩)	6	角礫岩
MVA	10	酸性火山岩
TTX	12	滑石透閃片岩
IMA	16	鎂鐵質侵入岩
IAC	17	酸性侵入岩
MAG	21	磁鐵礦
SIL	24	矽化岩石

礦化模型是根據岩性模型和地質研究確定的。解釋中劃分出兩個區域，使地質情況與 CuT 品位分佈建立聯繫。含硫角礫岩和陽起石蝕變帶以內包圍區域被解釋為 CuT 品位大於 1%，而蝕變量中浸染狀和網脈狀礦化被解釋為含 CuT 品位 0.2%。未對包圍區域以外部分進行估計，假設 CuT 品位為 0。

根據礦化類型等地質因素，將塊體模型分為四個部分（圖 8-18）。還對表層土與硫化物之間的分介面進行了解釋。

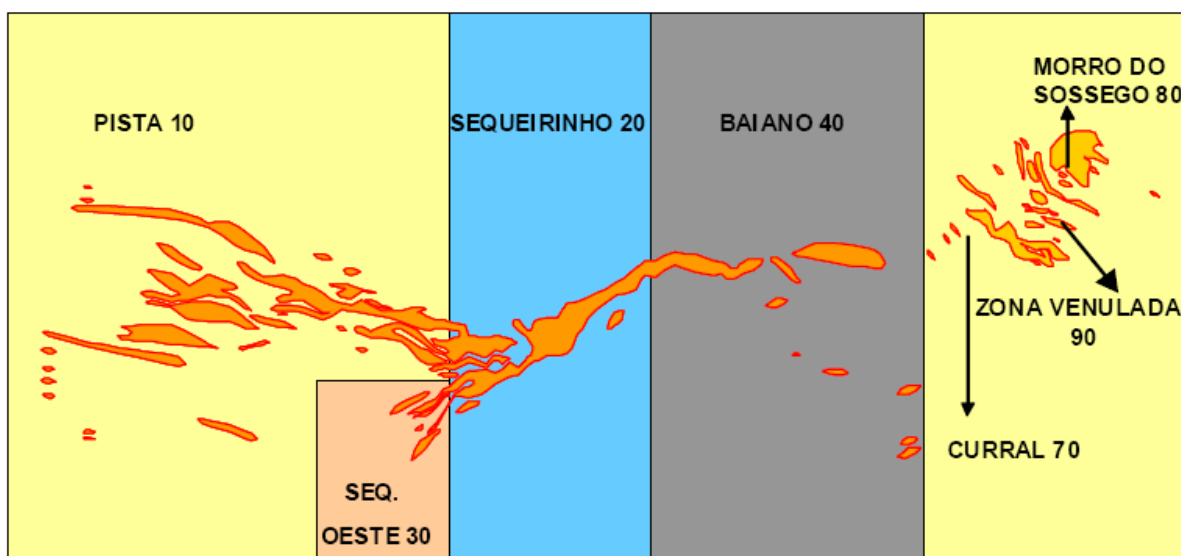


圖 8-18：Sossego 礦床塊體模型塊段劃分



視覺化審查

Golder 公司採用 Vulcan 軟件對這些模型逐個塊段進行了視覺化審查，評估模型與鑽孔資料的符合程度，並檢查其地質連續性。還對兩個地質模型進行比較分析，檢查其中出現的不一致。此外，還將賦予塊體模型的地質代碼與線框實體進行對比檢驗。

礦化模型顯示出鑽孔資料和塊體模型之間一致性較好。圖 8-19 顯示了礦化模型的典型剖面圖。

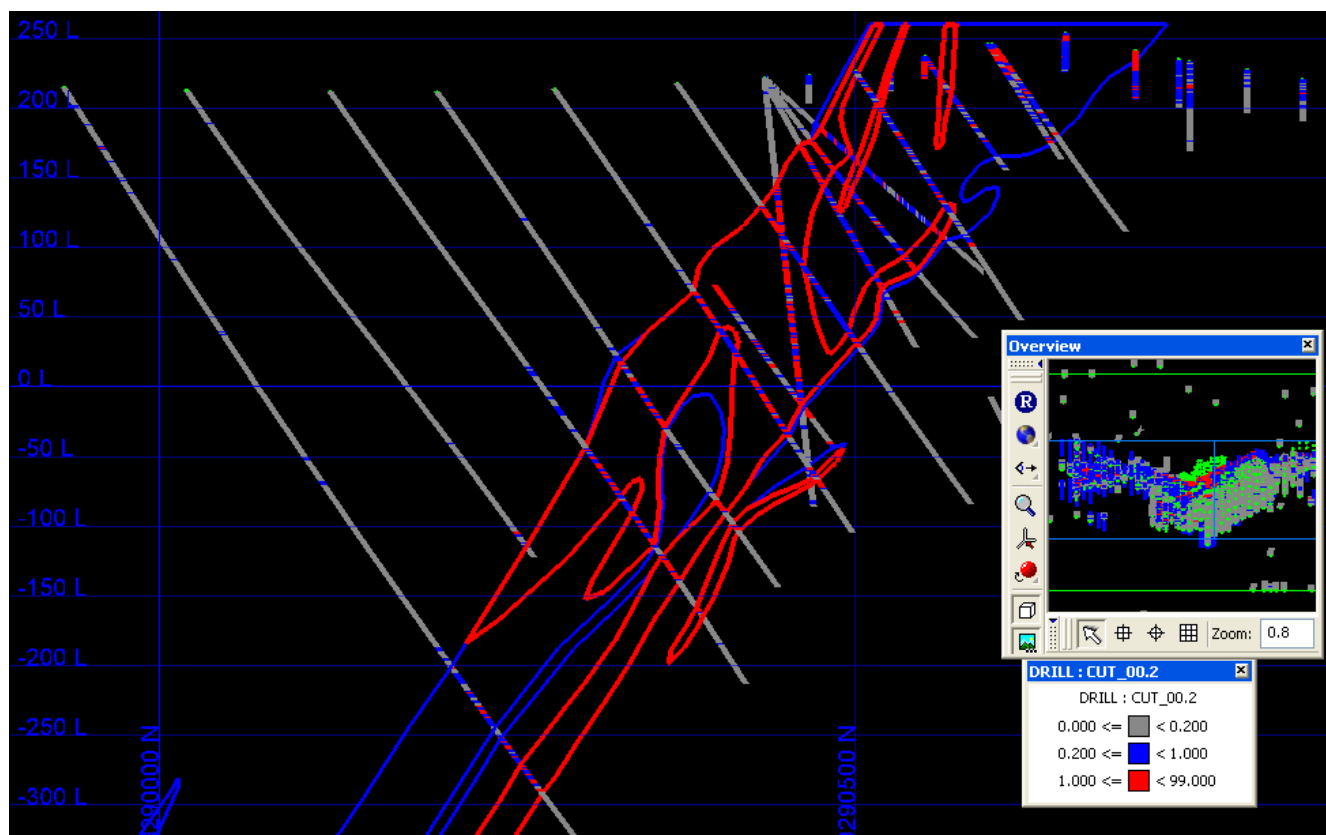


圖 8-19：礦化模型，剖面 603.520E

通過比較兩個模型，BX-ACT 單元和 CuT 品位> 1%的包圍體之間的關係比較明顯。

對地質實體和塊體模型進行的視覺化審查中發現的局部不一致，主要與解釋實體的地質連續性有關。

在模型的南部，解釋為存在一個角礫岩礦化體，沒有能與之吻合的可能控制礦化分佈的岩性單元。



Golder 公司審查了解釋為原生岩石和氧化岩石之間的分介面，發現了一些不一致。解釋中未考慮一些鑽孔，而且在某些時候分介面不符合岩性變化的準確位置（圖 8-20）。

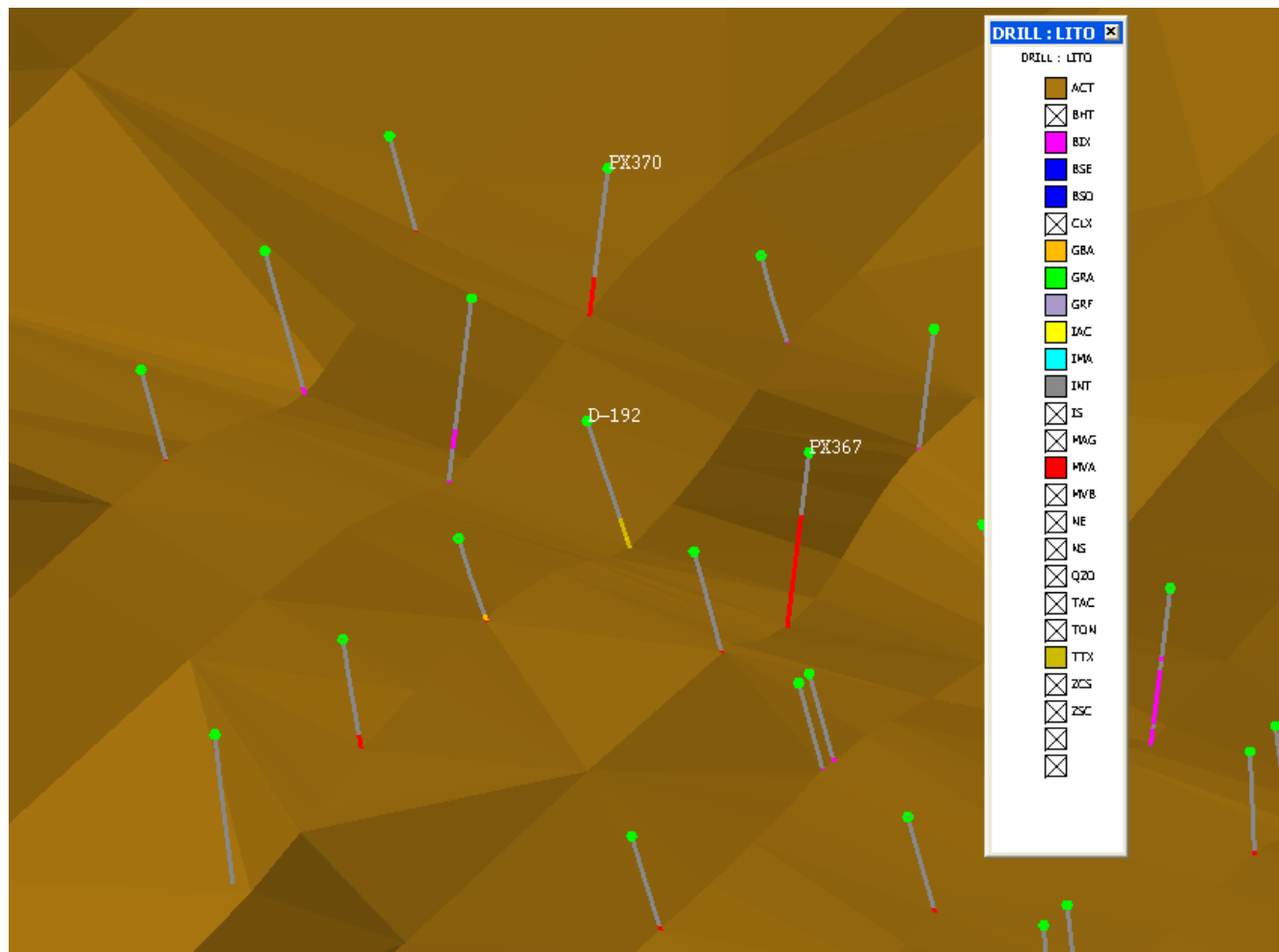


圖 8-20：劃分原生岩石－非原生岩石的交界面

對比分析

進行了相關的統計分析，比較原始資料（鑽孔記錄）和解釋資料（塊體模型／地質模型）之間的關係。為了驗證地質模型，將鑽孔樣本組合與塊體模型進行對比分析。Sossego 礦向 Golder 公司提供了塊體模型和地質模型 10×10×8 米塊體的地質資料，以及 2 米長樣本組合資料。

結果表明大部分建模單位具有良好的一致性，一致性值大於 80%，某些部分超過 90%。TTX 或 IAC 等岩性單位一致性值較低，在數據中很少出現。



單位 1006（角礫岩）的一致性值約為 70%，且由於其對於品位分佈比較重要，需要進行一些改進使該值提高。還發現大部分層段不能與單獨層段吻合建模，所以難以獲得具有地質連續性的解釋。

地質模型中，ACT 岩性通常解釋為 BX 的一部分，這表現為有一些 ACT 組合被建模為 BX。但是不清楚這種假設所採用的標準。

通過對比分析鑽孔資料和塊體模型，對岩性模型進行檢驗，沒發現明顯異常，且鑽孔模型資料和塊體模型之間的一致性符合要求。

8.12 礦物資源估計

文件縱覽

在「礦物資源與礦物儲量估計—2010 年技術報告」（文件 *Geo_SOS_2010_AUDITORIA.pdf*，日期 2010 年 6 月 17 日）中，描述了 Vale 提供的 Sossego 礦的礦物資源估計程序。此外，Vale 亦提供了過程中不同階段的記錄、參數檔案和輸出檔案，作為資源估計程序的文件化。

憑藉提供的文件，足以複製礦物資源估計。然而，就 Sossego 礦的礦物資源估計程序所有變數所作出的決定涉及的解釋及正當理由，均應在報告中作出妥善記錄（報告中並無詳盡列出金和密度估計程序）。

評估數據庫

由 Vale 採用 Gemcom® 軟件對 Sossego 礦床的總銅（Cu）、金（Au）和密度（De）進行品位評估。用於建立 Sossego 礦床地質模型和資源模型的鑽孔（由 Vale 以 Microsoft Access® 數據庫文件形式提供，*GD_AVAL_SOS_2010_REV2.mdb*）採用 Run Length 工具分為 2 米長的組合。組合根據塊體模型的岩性、蝕變和礦化帶作出標記。

將建立 Sossego 礦床資源模型所採用的 2 米樣本組合資料庫（由 Vale 提供文件 *EXPORT_COMP_2.txt*）導入 Vulcan®，得到文件 *sossego.com.isis*。採用該資料庫完成資源評估工作，包括區域圈定、變差分析以及品位評估。

資源模型（採用鑽孔資料庫中部分資料創建）評估所採用的樣本組合資料庫中包括 931 個鑽孔，總長度為 180443 米。在總鑽孔長度中，176596 米（98%）的總銅品位資料有效，176395 米（98%）的金品位資料有效，61234 米（34%）的密度測量資料有效。

樣本來源

採用金剛石鑽孔（DDH）和反迴圈鑽孔（RC）樣本組合建立資源模型。由於將不同鑽探方法獲取的樣本進行結合進行品位評估可能會導致評估結果偏差，所以除非通過適宜的檢驗證明其有效，否則不推薦採用上述方法。反迴圈樣本組合大約為金剛石樣本組合的 16%。

根據比較樣本資料庫和樣本組合資料庫，發現兩個資料庫中的鑽孔數量存在差異。樣本組合資料庫中鑽孔數量比原樣本資料庫更少，這表示對使用的鑽孔進行了選擇。但是，在 Vale 的文件和記錄中，沒找到評估工作中實際採用的鑽孔選擇標準。

對兩個樣本源的品位分佈進行了比較，以評估兩者區別。比較結果顯示，總體上兩個樣本源的低於 1.5% 的總銅品位接近（這個範圍代表了大於 90% 的銅品位分佈）。高於 1.5% 的銅品位，兩者的關係存在波動。反迴圈樣本組合首先在銅品位低於 2.5% 的區間表現為比金剛石組合品位更高，但在高於 2.5% 區間呈相反關係。考慮到不同樣本源之



間差異只佔總品位分佈的最多 10%，並無持續偏差，而且品位分佈的 90%沒呈現差異，所以將金剛石鑽孔資料和反迴圈鑽孔資料結合以進行總銅估計乃符合要求。

金品位分佈比較顯示，反迴圈樣本的銅品位整體比金剛石鑽孔樣本更高。計入反迴圈樣本可能導致金品位出現正偏差。

樣本組合

包含一米間隔的化驗資料的鑽孔資料庫，採用 Run Length 工具在 Gemcom®軟件中組合成 2 米間隔。組合工作考慮了存在未化驗層段和礦石／廢石接觸因素的間隔。

長度分析

評估工作中沒對樣本組合長度作出限制。Golder 公司對長度和品位分佈的關係進行了全面分析，採用與樣本組合長度差異較大的樣本長度，確保不會出現可測量的偏差。

通過組合過程，得到長度值為 0.01-2 米的樣本組合。通常不採用低於組合尺寸 50%的樣本組合；因此將採用 1 米的長度標準劃分樣本組合資料庫進行分析。

如 8-11 所示，短於 1 米的樣本組合的平均總銅／金品位明顯小於長度介乎 1-2 米的樣本組合的平均品位。密度也略有差異。

表 8-11：不同長度範圍的樣本組合基本統計

變數	長度範圍	測量數量	最小值	最大值	平均值	標準差	方差	變化系數
銅 (%)	長度 ≥ 1	88386	0.005	50.050	0.362	0.938	0.880	2.592
	長度 < 1	202	0.005	3.070	0.086	0.305	0.093	3.550
金 (ppm)	長度 ≥ 1	88281	0.005	19.080	0.094	0.358	0.128	3.809
	長度 < 1	198	0.005	1.450	0.025	0.123	0.015	4.874
密度 (g/cm ³)	長度 ≥ 1	30622	1.240	4.490	2.855	0.250	0.062	0.088
	長度 < 1	28	2.610	3.750	2.838	0.241	0.058	0.085



在統計分析結果中，對三個變數的長度分佈進行了比較。分別對總銅、金和密度生成上覆的累計概率圖。

在統計分析結果中，小於 1 米樣本組合的銅／金品位普遍較低，這表明由於可能導致負偏差，所以需要在評估過程中採取長度限制。雖然密度分佈和統計結果之間的差異不明顯，但是為保持一致，需要對品位變數採取相同的長度限制。採取該限制標準，意味著評估中將排除佔總數據不到 0.25% 的資料。

控制這個問題的一個方法是在普通克里格計算過程中，引入樣本長度資料作為權重變數。換句話講，將克里格權重乘以樣本長度，然後將修改權重歸一。這種方法的缺點是重歸一會重新大量分配克里格權重值，違背最初由反映變差的克里格矩陣所確定的權重值。

探索性數據分析

探索性數據分析的目的是找到不同樣本數量的分佈的相似性，並確定將估計區域的地質屬性歸入評估區域分組方法。

採用不同的統計學和地質統計學工具，對區域劃定的統計準確性進行了審查。分析中，製作了基本統計、平均值和標準差的散點圖、以及概率累計圖，評價 Sossego 礦床資源評估所採用評估區域劃定。在評估過程中運用相關限制之後，所有統計分析均採用樣本組合資料庫進行。

估計區

三大變數的估計區是以銅品位插值規定的單元為基礎。它們基於結構資訊、岩性、蝕變和礦化等組合。

結構資料是用來將礦藏分為各個礦區，該等礦區代表類似的礦化定位和類型。表 8-12 顯示 Sossego 銅礦擬定的構造帶，見圖 8-18 的平面圖所示。

表 8-12：礦區定義－結構性趨勢

礦區	礦區代碼	方位	傾角
Pista 銅礦	10	110°	75°
Sequeirinho 銅礦	20	60°	55°
Sequeirinho 銅礦	30	60°	55°
Baiano 銅礦	40	85.	70°
Curral 銅礦	70	125°	90°
Morro do Sossego 銅礦	80	140°	0°
Vein 礦	90	140°	90°



結構礦區與礦化、蝕變和岩性結合，規定兩大子礦區：低品位分散區和高品位角礫岩區。綠色和紅色氧化物細分為腐泥土，過渡區亦有建模，但是，它們不是礦產資源／礦石儲量的組成部分，因此沒有審計。最後的硫化物估計區如表 8-13 所示。實踐中，Pista 礦區、Sequeirinho 礦區和巴亞諾礦區的分散區視為所有變數的單一估計區。

表 8-13：估計區定義

礦區	礦化	代碼	使用的示例代碼		
			銅	金	De
Pista 銅礦	分散	15	15 +25 +35 +45		
	角礫岩	16	16 +26 +36 +46	16 +26 +36	16
SequeirinhoSW 銅礦	分散	25	15 +25 +35 +45		
	角礫岩	26	16 +26 +36 +46	16 +26 +36	26 +36
Sequeirinho 銅礦	分散	35	15 +25 +35 +45		
	角礫岩	36	16 +26 +36 +46	16 +26 +36	26 +36
Baiano 銅礦	分散	45	15 +25 +35 +45		
	角礫岩	46	16 +26 +36 +46	46	46
Curral 銅礦	分散	75	75	75	75
	角礫岩	76	76	76	76
Morro do Sossego 銅礦	分散	85	85	85	85
	角礫岩	86	86	86	86
Vein 礦	分散	95	95	95	95

此外，對金品位評估表明進行了定義廢地塊的克里格估計。如果地塊內角礫岩產生的廢物的比例或分散材料大於 41 %，該地塊則規定為廢地塊，賦值為金品位 0.005 ppm（未進行礦產品位克里格估計）。

總銅

表 8-14 概述各估計區獲得的總銅基本統計資料。複合物採用長度計重。總之，估計區定義與統計特徵一致。Pista 礦區、Sequeirinho 礦區和巴亞諾礦區的分散區全部分組，證實大部分獨立區在統計上是獨立的。

統計分析表明，36 和 46 區可作為獨立區。然而，累積概率分佈圖表明，16、26 和 36 區十分相似。46 區的分佈表明品位比組內其他區低，但考慮單位內複合物數量不大，認為適合分組。

統計分析還表明 75 至 85 和 76 – 86 區的分組。即使累積概率圖分析表明，角礫岩和分散區的分佈非常相似，兩個單元的空間位置表明 95 區（礦脈區）位於該等區之間，意味著區的地質背景和結構趨勢的變化。而且，區之間礦化連貫性取向各不相同。由於地質和構造方面原因，認為該等區完全可以定義為獨立區單元。



Sossego 銅礦完全可以按總銅估計區定義。

表 8-14：銅複合物概括性統計（採用長度計重）

區	觀察數量	最小值	最大值	平均值（銅%）	標準差	方差	系數變數
15	4,619	0.005	5.870	0.421	0.446	0.199	1.061
16	1,113	0.010	13.530	1.990	1.572	2.472	0.790
25	4959	0.005	9.010	0.510	0.527	0.278	1.033
26	3,368	0.020	14.740	2.029	1.621	2.629	0.799
35	186	0.005	2.550	0.489	0.342	0.117	0.699
36	64	0.080	7.000	1.815	1.282	1.642	0.706
45	998	0.005	6.340	0.450	0.506	0.256	1.124
46	256	0.040	13.810	1.632	1.674	2.804	1.026
75	787	0.005	12.440	0.833	1.448	2.096	1.738
76	195	0.030	10.080	1.418	1.571	2.470	1.108
85	1,954	0.005	19.800	0.844	1.645	2.706	1.948
86	1,660	0.009	21.430	1.720	2.548	6.490	1.482
95	1,032	0.005	15.950	0.994	1.771	3.137	1.781

金

統計分析（於表 8-15 概述）表明金品位低的分散區和金品位高的角礫岩之間存在很大的相關性。Pista 礦區、Sequeirinho 礦區和巴亞諾分散礦區表明平均品位非常低，但是，發現代號 15、25、35 和 45 不夠充分。

平均與標準差圖以及分佈分析表明，分散區的潛力分組可能為 15 - 45 和 25 - 35。考慮到 45 區的空間位置，以及可用的符合材料數量不大，可以 25 和 35 分組，但應將 15 單元作為獨立的估計區。

而且，Morro do Sossego 銅礦區 75、85 和 95 似乎不是金品位的獨立單元。其統計特徵和分佈表明，應按估計目的分組。

46 角礫岩獨立區獨立估計。我們認為這是合適的，因為它具有最低平均值，並在空間上與 16 區分開。認為適合將 16、26 和 36 區分組，並將 76 和 86 區作為獨立區。



金品位估計區的定義一般認為適合於 Sossego 銅礦。15 區可獨立估計，75、85 和 95 區可併入單獨的估計單元。

表 8-15：金複合物概括性統計（採用長度計重）

區	觀察數量	最小值	最大值	平均（金百萬分之一）	標準差	方差	系數變數
15	4,613	0.005	4.960	0.091	0.167	0.028	1.843
16	1,089	0.005	9.110	0.497	0.814	0.662	1.636
25	4945	0.005	4.470	0.143	0.237	0.056	1.664
26	3,364	0.005	9.770	0.586	0.810	0.657	1.383
35	186	0.005	1.750	0.133	0.205	0.042	1.533
36	64	0.005	7.330	0.538	1.118	1.251	2.079
45	998	0.005	1.800	0.111	0.163	0.027	1.467
46	256	0.005	13.630	0.489	1.098	1.206	22.45
75	787	0.005	7.190	0.224	0.545	0.297	2.437
76	195	0.005	9.280	0.537	1.220	1.490	2.271
85	1,955	0.005	5.690	0.230	0.528	0.279	2.297
86	1,660	0.005	8.200	0.558	0.919	0.844	1.647
95	1,032	0.005	11.160	0.239	0.665	0.442	2.776

密度

銅的規定區似乎不控制密度等級。如表 8-16 內概括性統計以及平均與標準差圖，所用分組和獨立評估區在統計上似乎不一致。

對統計資料和密度分佈進行分析後，Golder 公司作出如下結論：

- Pista 礦區、Sequeirinho 礦區和巴亞諾波散區不應估計為單獨區。考慮 35 區可用的複合物數量不大，並考慮該區位置，可以按 15 單元分組。
- 26 和 36 角礫岩區不應進行分組。16 - 36 和 26 - 46 區可分別分組，這樣，從複合物數量不大的區估計，可獲得大量樣品。
- 對於 Morro do Sossego 銅礦礦區，76 - 86 和 75 - 95 區由於估計目的，可分別分組。

應重新審計估計區的密度定義。



表 8-16：密度複合物概括性統計（採用長度計重）

區	觀察數量	最小值	最大值	平均（金百萬分之一）	標準差	方差	系數變數
15	3,413	2.030	3.660	2.759	0.116	0.014	0.042
16	1,007	2.180	4.030	2.923	0.275	0.075	0.094
25	3979	2.270	4.490	2.958	0.241	0.058	0.081
26	2700	2.600	4.290	3.124	0.248	0.062	0.079
35	141	2.590	3.080	2.814	0.118	0.014	0.042
36	52	2.700	3.240	2.922	0.128	0.016	0.044
45	793	2.460	4.040	3.034	0.154	0.024	0.051
46	175	2.770	3.900	3.160	0.208	0.043	0.066
75	545	2.360	3.450	2.777	0.113	0.013	0.041
76	151	2.660	3.380	2.951	0.144	0.021	0.049
85	1600	2.390	3.850	2.828	0.143	0.021	0.051
86	1,536	2.510	3.840	2.975	0.185	0.034	0.062
95	701	2.480	3.790	2.781	0.128	0.016	0.046

總銅接觸帶分析

Golder 公司對目前估計區的總銅進行了獨立等級接觸分析。分析表明所有分散區和角礫岩接觸帶之間突然發生等級變化，說明可以使用硬邊界進行地塊品位估計。

觀察到分散或角礫岩區之間接觸帶品位平緩過渡，都具有計算所需樣品，支持區分組內隱含軟邊界。使用軟邊界改善區之間接觸帶的估計穩健性。

通過總銅品位的接觸帶分析支持 Sossego 銅礦的等級估計過程中採用的邊界定義。

金接觸帶分析

獨立的金接觸帶分析表明，分散和角礫岩區之間出現硬邊界，符合預期。總的說來，接觸帶的性質與金估計區的定義一致：都具有樣品的區域品位平緩過渡，獨立區在接觸帶出現突然過渡。

然而，發現一些例外情形，與第 10 部分表明的區域定義相符。

15 和 25 區之間的接觸帶分析表明存在硬邊界。其結果與將該區定義為獨立估計單元的想法一致。而且，85 和 95 區之間的接觸帶表明等級平緩過渡（在約 15 米處觀察的峰值僅採用 8 對計算），符合將該等單元併入單獨估計區的建議。



接觸帶分析研究表明，總之，金估計區的邊界已經被足夠地定出。但是，結果與被質疑的金區一致，如果修改該單元的定義，應予以更新。

密度接觸帶分析

鑒於比其他兩個變數相比，獲得的資料量更少，密度值接觸帶分析出現非常可變的情形。這樣，就不能準確分析，在可以進行更多的密度測量時，應該進行進一步評估。對於確實提供有意義的結果的情況，分散區和角礫岩區的邊界一般在接近接觸帶時出現密度突然變化，表明屬於硬邊界。

在離接觸帶約 20 米處可以觀察軟邊界的地方，發現一些差異，表明兩區的複合物都可以用來估計。

密度接觸帶分析研究表明，在可以獲得更多密度資料後，應該重新審計現用邊界。同時應根據現單元審查產生的潛在新的估計區，進行進一步分析。

空間相關性和變化圖

Vale 於 Gemcom®完成了變化圖計算和建模。通過對總銅、金和密度所有估計區進行獨立的相關圖計算，Golder 公司檢查了 Sossego 銅礦變化圖。用於驗證過程中的相關圖模型以各元素估計參數檔所述的模型為準：

- 採用 Golder 公司軟件計算實驗相關圖；
- 通過井下 (DTH) 相關圖檢查塊金效應的解釋；及
- 評估相關圖模型是否適合連貫性主方向方面獨立計算的實驗相關圖。

於實驗相關圖獨立計算時重新產生多個參數如落後距離、角度公差和頻寬等。

總銅

用於檢查總銅塊金效應解釋的井下相關圖分析表明，總的說來，可以認可建模值。對得到結果的意見如下：

- 認為適合 16 和 85 區的金塊效果認為是充分的。
- 15 和 25-36 區相關圖金表明可以認可適應的金塊效，但是，所用數值可能稍微加高，以適合實驗值。



- 45-46 和 86 區的井下相關圖表明，採用的塊金效應可以接受，所用數值可能稍微降低，以適合實驗值。
- 認為 75-76 區適合的塊金效應被低估。應加高所用值，以適應實驗值。方位相關圖不支持 75-76 區選擇塊金效應。
- 認為 95 區適合的塊金效應被高估。應降低其數值，以適應實驗值。方位相關圖不支持 95 區選擇塊金效應。

用於總銅估計的相關圖模型於表 8-17 中概述。該模型與 Golder 公司獨立獲得的實驗相關圖匹配。大部分的模型都可被接受，可能在某些情況下作出細微變化，以適合實驗相關圖。模型檢查後發表如下意見：

- 45-46 和 75-76 區的相關圖模型十分適合實驗相關圖。
- 用於 15 和 16 區連貫性小方向的模型可以縮小，以便改進後匹配。但是，認為該模型可以接受。
- 用於 85 和 95 區連貫性大方向的模型可以縮小，以適合實驗資料。考慮到克里格搜索橢球基於相關圖範圍，高估幅度對估計結構可能會產生直接影響。
- 用於 25-26 區連貫性大方向和半大方向的模型可以稍微縮小，以便匹配。但是，認為該模型可以接受。

簡而言之，認為適合總銅的相關圖模型可以接受。只需要進行幾處修改，便可適合實驗相關圖，並可避免影響具有大範圍人工搜索的克里格計劃。



表 8-17：總銅相關圖模型綜述

銅區	方向 (Az/ 浸)	塊金效應	第一結構			第二結構		
			岩床連貫性	類型	範圍	岩床連貫性	類型	範圍
15	200/-75	0.30	0.50	sph	25.0	0.20	sph	80.0
	110 / 0				45.0			100.0
	200/15				50.0			90.0
16	200/-75	0.30	0.50	sph	90.0	0.20	sph	130.0
	110 / 0				90.0			100.0
	200/15				30.0			40.0
25 - 36	150/-55	0.10	0.60	sph	35.0	0.30	sph	200.0
	60 / 0				35.0			100.0
	150/35				25.0			90.0
45 - 46	175/-70	0.30	0.55	sph	45.0	0.15	sph	149.8
	85 / 0				30.0			79.8
	175/20				30.0			60.1
75 - 76	125 / 0	0.30	0.50	sph	20.0	0.20	sph	80.0
	35 / 0				10.0			40.0
	125/90				15.0			60.0
85.	140/90	0.50	0.30	sph	10.0	0.20	sph	100.0
	140 / 0				5.0			50.0
	50 / 0				5.0			25.0
86	140/90	0.50	0.30	sph	10.0	0.20	sph	110.0
	140 / 0				30.0			50.0
	50 / 0				10.0			40.0
95	140 / 0	0.50	0.30	sph	5.0	0.20	sph	50.0
	50 / 0				5.0			25.0
	140/90				10.0			100.0

金

金相關圖塊金效應分析如下：

- 認為 15-16 區模型塊金充分。
- 即使井下相關圖表明 25-26 和 45-46 區塊金效應被低估，方位相關圖支援其解釋。認為該區建模值可以接受。
- 75-76、85-86 和 95 區塊金效應被低估。方位相關圖支援該觀察到的低估現象。



用於金估計的相關圖模型於表 8-18 中概述。發現所有模型都可以接受，可能在一些情況下作出細微變化，以適合實驗相關圖。模型檢查後的意見如下：

- 用於 15-16、25-36 和 75-76 區大方向的相關圖範圍可以縮小，改進後適合實驗值。認為該等模型可以接受。
- 45-46 區大方向和半大方向所用相關圖範圍可以縮小，改進後適合實驗值。認為該等模型可以接受。
- 認為 85-86 和 95 區相關圖模型合適。

認為金所用相關圖可以接受。建議修改，讓模型在改進後更適合實驗相關圖。

表 8-18：金相關圖模型綜述

金區	方向 (Az/ 浸)	塊金效 應	第一結構			第二結構		
			岩床連 貫性	類型	範圍	岩床連 貫性	類型	範圍
15 - 16	200/-75	0.50	0.20	sph	30.0	0.30	sph	200.0
	110 / 0				30.0			160.0
	200/15				10.0			80.0
25 - 36	150/-55	0.30	0.50	sph	30.0	0.20	sph	200.0
	60 / 0				30.0			100.0
	150/35				10.0			90.0
45 - 46	175/-70	0.30	0.50	sph	33.0	0.20	sph	180.9
	85 / 0				29.7			128.9
	175/20				15.0			114.1
75 - 76	125/90	0.30	0.50	sph	30.0	0.20	sph	60.0
	125 / 0				10.0			90.0
	35 / 0				10.0			20.0
85 - 86	140/90	0.30	0.50	sph	10.0	0.20	sph	60.0
	140 / 0				10.0			35.0
	50 / 0				10.0			60.0
95	140 / 0	0.30	0.50	sph	10.0	0.20	sph	35.0
	50 / 0				10.0			60.0
	140/90				10.0			60.0



密度

總之，對密度相關圖進行的塊金效應分析表明大多數解釋充分。僅針對 Morro do Sossego 銅礦礦區提出如下建議：

- 85-86 區井下相關圖表明可以接受塊金效應，但所用值可以略為提高，改進後適合實驗值。
- 認為 75-76 和 95 區的塊金效應被低估。

密度估計所用相關圖模型於表 8-19 概述。有些模型可以接受，只需要作出細微改動，改進後，更適合實驗相關圖。其他區需要減小範圍，以充分適應實驗相關圖。模型檢查後意見如下：

- 認為 75-76 和 95 區所用模型非常適合實驗相關圖。
- 相關圖範圍主要用於和半區 85-86 區大方向和半大方向所用相關圖範圍可以縮小，改進後適合實驗相關圖。認為該模型可以接受。
- 該模型用於區 15-16、25-36 和 45-46 所用模型可以縮小，以適應實驗資料。鑒於克里格搜索橢球是基於相關圖範圍，高估範圍對密度結果產生直接影響。

表 8-19：密度相關圖模型綜述

密度區	方向 (Az/ 浸)	塊金效 應	第一結構			第二結構		
			岩床連 貫性	類型	範圍	岩床連 貫性	類型	範圍
15 - 16	110 / 0	0.10	0.90	sph	140.0	-	-	-
	200/-75				200.0			-
	200/15				120.0			-
25 - 36	150/-55	0.10	0.45	sph	50.0	0.45	sph	400.0
	60 / 0				40.0			200.0
	150/35				20.0			150.0
45 - 46	175/-70	0.10	0.60	sph	70.0	0.30	sph	300.0
	85 / 0				20.0			200.0
	175/20				10.0			150.0
75 - 76	125/90	0.20	0.80	sph	75.0	-	-	-
	125 / 0				80.0			-
	35 / 0				60.0			-
85 - 86	140/90	0.20	0.50	sph	10.0	0.30	sph	110.0
	140 / 0				10.0			40.0
	50 / 0				10.0			80.0
95	140/90	0.20	0.50	sph	10.0	0.30	sph	110.0
	140 / 0				10.0			40.0
	50 / 0				10.0			60.0

用於密度的相關圖模型需要改善，以適合試驗相關圖，及避免影響具有大範圍人工搜索的克里格計劃，及足夠地闡釋塊金效應。



模組建模和礦產品質評估

模組建模的定義

Sossego 銅礦礦產資源模型由 Vale 在 Gemcom® 軟件環境中產生，資源模型使用兩個規則模組模型進行評估，模組尺寸為 10 米×10 米×8 米（大約 200 米高度）和使用一最大 10 米×10 米×16 米（在 199 米高度以下），之後重新輸入 10 米×10 米×16 米的大小中。較小模組高度的第一個模組模型使用按需要支援以便足夠氧化礦區的地理位置。考慮在兩種模型之間的限制根據海拔高度確定，硫化物模組存在兩種模組裡面。

模組模型由 Vale 提供在 ASCII 檔 (MODELO_8_SOS.txt 及 MODELO_16_SOS.txt) 裡，輸進到 Vulcan® 以便進一步分析，Vulcan® 模型分別與檔 SOSSEGO_08_JB.bmf 及 SOSSEGO_16_JB.bmf 一致。兩個模組模型的定義詳細描述在表 8-2 和表 8-2 中。

表 8-1：Sossego 銅礦 10 米×10 米×8 米模組建模定義

定位	角方向	傾角	切入角
	90	0	0
起始位置	東	北	高度
	601 000	9 289 300	120
母模組尺寸	10	10	8
母模組數量	530	250	20

表 8-2：Sossego 銅礦 10 米×10 米×16 米模組模型定義

定位	角方向	傾角	切入角
	90	0	0
起始位置	東	北	高度
	601 000	9 289 300	-600
母模組尺寸	10	10	16
母模組數量	530	250	50

為了在現場礦物質礦儲量估計，模組模型單位尺寸和複合材料長度可接受達到一個合理局部評估品位和控制平滑效果。

等級評估

在一般情況下，所有變數的評估是根據評估領域使用三通道 (3) 普通克里格方法進行。對於一些領域執行附加評估以便允許評估所有模組，對於 16m 高度模型採用 5 米 x 5 米 x 8 米的模組離散化，對於 8m 高度模型採用 5 米 x 5 米 x 4 米的模組離散化。

為了在現場礦物質礦儲量估計，Vale 採用的全部銅、金和密度進行整體評估方法是可以接受的。

參數估計

用於總銅級、金級和密度的搜索參數分別詳列於表 8-22，表 8-23 和表 8-24。開發用於每個領域評估的克里格計劃



包括一個一致的樣本配置方案，搜索半徑隨評估次數增加。

對於三次評估的樣板配置如下：

- 最小樣品數 : 12
- 最大樣品數 : 24
- 每次鑽孔最大品數 : 8

爲了讓所有模組進行評估，對於一些評估領域要附加評估：

- 總銅和金
 - 領域 15 : 3 個附加評估
 - 領域 35 : 1 個附加評估。
- 密度
 - 領域 15 : 2 個附加評估
 - 領域 25，35，45 和 46 : 1 個附加評估

有的附加評估減少這些額外的最低樣本數到 3。這些都是評估 6 -領域 15 和評估 4 -領域 35（對於總銅和金）評估 5 -領域 15 和評估 4 個-領域 25（對於密度）。所有附加評估增加了在第三次通過中使用的搜索半徑。詳細使用距離分別在表 8-25，表 8-26 和表 8-27（對於總銅、金和密度）。



表 8-22：總銅搜索半徑

領域	搜索定位 (Az/浸)	評估 1			評估 2			評估 3		
		主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑		
15	200/-75	160	160	150	240	240	225	320	320	300
16	200/-75	260	260	80	390	390	120	800	800	800
25 - 36	150/-55	240	140	120	360	210	180	600	600	600
45 - 46	175/-70	180	100	80	270	150	120	700	700	700
75 - 76	125 / 0	60	50	120	90	75	180	1200	1200	1200
85.	140/90	120	60	50	180	90	75	600	600	600
86	140/90	280	120	100	420	180	150	600	600	600
95	140/90	112	28	56	168	42	84	600	600	600

表 8-23：金搜索半徑

領域	搜索定位 (Az/浸)	評估 1			評估 2			評估 3		
		主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑		
15	200/-75	400	320	160	600	480	240	800	640	320
16	200/-75	160	160	60	240	240	90	800	800	800
25 - 36	150/-55	240	140	120	360	210	180	600	600	600
45 - 46	175/-70	180	100	80	270	150	120	700	700	700
75 - 76	125 / 0	60	50	120	90	75	180	1200	1200	1200
85 - 86	140/90	120	60	50	180	90	75	600	600	600
95	140/90	112	28	56	168	42	84	600	600	600

表 8-24：密度搜索半徑

領域	搜索定位 (Az/浸)	評估 1			評估 2			評估 3		
		主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑			主/半主/次搜索半徑		
15	200/-75	400	280	240	600	420	360	800	560	480
16	200/-75	400	280	240	600	420	360	800	800	800
25 - 35	150/-55	400	200	150	600	300	225	700	700	700
26 - 36	150/-55	800	400	300	1200	600	450	400	400	400
45 - 46	175/-70	600	400	300	900	600	450	600	600	600
75 - 76	125 / 0	150	120	160	225	180	240	1200	1200	1200
85 - 86	140/90	220	160	80	330	240	120	600	600	600
95	140/90	220	120	80	330	180	120	600	600	600



表 8-25：對於附加評估的總銅搜索半徑

領域	評估	搜索定位	主／半主／次搜索半徑		
		(az／浸)			
15	4	200/-75	400	400	375
15	5	200/-75	600	600	600
15	6	150/-55	1000	1000	1000
35	4	150/-55	1000	600	600

表 8-26：對於附加評估的金搜索半徑

領域	評估	搜索定位	主／半主／次搜索半徑		
		(az／浸)			
15	4	200/-75	1000	800	400
15	5	200/-75	1200	960	480
15	6	150/-55	1500	1500	1500
35	4	150/-55	1000	1000	1000

表 8-27：對於附加評估的密度搜索半徑

領域	評估	搜索定位	主／半主／次搜索半徑		
		(az／浸)			
15	4	200/-75	1000	700	600
15	5	200/-75	1000	1000	1000
25	4	150/-55	800	800	800
35	4	150/-55	1000	1000	1000
45	4	175/-70	600	600	600
46	4	175/-70	1000	1000	1000

資源模型報告指出，對於 95% 相關圖模型基石，第一次搜索半徑集是使用範圍值的兩倍獲得，第二和第三次搜索半徑分別是第一次的兩倍和三倍。比較搜索半徑與相關圖模型，顯示這種情況並非如此：在搜索橢圓的各向異性不符合相關圖範圍。此外，第二評估橢球定義為第一評估橢圓的 1.5 倍，和第三評估主要是各向同性的，除了領域 15 的三個變數。



搜索距離和各向異性

對於第一和第二評估，搜索距離過大，使用 95% 基石來定義第一評估的橢圓以及加權第二和第三評估的半徑（即 2 和 3 倍）是良好的做法，維持所有評估的相關圖各向異性，對於第四和更多評估的搜索距離是可以接受的，但在這些評估中沒有評估的模組應列為測量或指示礦產資源。

組合最小和最大樣品參數的當前搜索橢球可能產生非常順暢的結果，此外，組合高產量限制使用的大搜索半徑可能會導致低級別的人工污染，低估了在測定評估領域中的全面方法。

最小／最大樣品

正如在搜索橢球聲明，最小和最大數量的樣品被認為是高。這可能會產生非常順暢的評估結果，特別是對於 10 米 X10 米 x8 米的模組。考慮到第一個評估的目標是要獲得更小的體積，但更可靠的結果，對於這兩個評估這兩個參數應該降低。

八分儀

基於八分儀的使用是有用的，因為它可以從不同方向確保良好的空間覆蓋和影響。目前，沒有八分儀應用限制在克立格計劃。沒有運用八分儀的限制，通過從單個橢圓推斷樣品可能導致模組插值，這種模組不應按照國際標準測定或指示進行分類。

每次鑽孔最大樣品數

每次鑽孔的最大樣品量使用，加上較高的最低複合材料量是一個良好的做法，因為它會強制使用兩個以上的鑽孔，以確保所使用的樣本不偏向單一的洞。

當前配置，確保使用來自至少 2 鑽孔的樣品，避免使用來自一個鑽孔的樣品進行評估模組，這種做法被認為是足夠的。

高級的限制

這是很好的做法，限制偏離各單元的礦產品級累積分佈的異常高值的影響。

高產的限制已經被應用到所有領域的三個變數。使用的閾值和影響量列於表 8-28。

影響量已使用相關圖模型總範圍的大約 50% 來定義，考慮到 Sossego 銅礦沉澱的變化，使用污染高值到 40 區的範圍不是最佳的做法。所選擇的體積最好限制高值的影響到鄰近大約 4 或 5 區（在主要各向異性方向）。使用在二次方向上的半徑應該挑選使得領域的各向異性域給予肯定。



表 8-28：高產量處理的定義

領域	海蘭 值銅	主／半主／次搜索半 徑			Hy-價 值 金	主／半主／次搜索半 徑			Hy-價 值 金	主／半主／次搜索半 徑		
15	1.38	40	50	20	0.37	100	80	40	3.04	100	70	60
16	6.34	65	50	20	2.21	40	40	15	3.56	100	70	60
25	1.71	100	50	45	0.58	60	35	30	3.57	100	50	40
26	5.85	100	50	45	2.44	60	35	30	3.70	200	100	75
35	1.40	100	50	45	0.71	60	35	30	3.06	100	50	40
36	5.84	100	50	45	5.29	60	35	30	3.17	200	100	75
45	1.39	75	40	30	0.47	45	25	20	3.37	150	100	75
46	6.19	75	40	30	1.76	45	25	20	3.69	150	100	75
75	4.70	30	20	40	1.62	15	12	30	3.08	38	30	40
76	5.43	30	20	40	3.25	15	12	30	2.90	29	23	30
85	5.91	50	13	25	1.51	30	15	12	3.19	55	40	20
86	9.77	70	30	25	2.97	30	15	12	3.35	40	30	15
95	7.97	50	13	25	1.59	28	7	14	3.12	55	30	20

使用累積概率圖對根據預算範圍所產生的每個變數獨立檢查，以驗證運用高產量限制的閾值。通常情況下，閾值的選擇回應上尾分佈的中斷或固定的總體百分比（例如 95%）。實驗結果的分析表明，約 97% 的總體中一個固定的百分比是定義的選擇工具。然而，定義高產閾值的標準應妥善記錄。

總銅的分析表明，用於領域 15，16，25，26，45 和 85 的閾值很低。由於在分配中中斷，沒有選擇採用這些值。

金等級的高產量閾值檢查顯示了類似的行為。領域 15，16，25，26，45，75，85 和 95 使用比分配較低的值，為領域 36 挑選的閾值可更低。

密度分佈分析表明，只有對於領域 35，36，75 和 95 採用高產域值被認為是可以接受的。其餘的閾值被認為過低，除了領域 46，被認為是高的。

模組模型驗證

要檢查 Sossego 銅礦資源模型的有效性，驗證了一個獨立的模組模型以便評估克立格性能和輸入資料的符合性。一系列全面檢查要求執行包括：

- 比較複合材料和區模型統計；
- 視覺驗證評估礦產品級與複合品級；
- 測繪圖對比模組等級與複合品級；及
- 基於生產資料和短期模型的盤點分析。



一般來說，在這次審計中進行的驗證，只有確定是否如預期估計的表現。可接受的驗證結果並不一定意味著該模型是正確的或來自正確的估計方法。這只是意味著資源模型是合理使用的資料和估計方法的應用。

統計比較

在複合材料和評估值之間的全面統計進行比較是一個有用的方式，可以全面檢查估計的結果。模組模型應該顯示符合輸入資料，並可見接近的協定與資料平均品級。平均等級通過以下標準列出：

- 值接近 0% 表示良好的符合性。負值表明，該模型對有關資料的估計是保守的，而正值表明高估了全面平均的估計。一般來說，低於 5% 的差異是可取的，差異大於 10% 需要注意。

起初，為了實現了按元素和領域代表性樣品分配，獨立的系列分塊權值分別採用單元分塊，克立格計劃，平方反距離和其他方法產生。模組模型的統計考慮到分模組模型大小作為加權因素。結果表明，平方反距離權重的加權對沉澱物是最好的分佈方法，因此使用這些分塊加權進行統計比較。

對於總銅的全面的統計分析表明，領域 76，86，95，120 和 124 的模組評估可以使得分塊複合材料的全面方法獲得的肯定，對於領域 75 和 85 的結果表現出相對較高的低估了全面方法。即使傳播領域對應較低的總銅單元和所觀察到的低估意味著有些保守的模式，這些單元的評估應當進行審查，以獲得一個可以接受的全面方法再現。

就像在統計比較全面金手段，大多數估計領域顯示差異低於 10%，這被認為是可以接受的。結果域 46 和 76 顯示出高低估全面的手段。

對於密度的全面方法分析表明，結果對於所有領域是足夠的。

視覺驗證

對於總銅執行視覺驗證表明，一般模組評估足夠使得複合礦產等級得到肯定，可能採用複合資料支援的礦產等級連續性。

然而，大搜索橢球和較高的最少和最多樣品數量的影響在模組評估中可觀察到。視覺分析顯示順暢的視覺效果。該礦產等級的連續性被可接受複製，但觀察到的複合礦產等級的高可變性被順暢結果吸收。

此外，大量礦產等級沒有使用複合材料做深度估計料於支持連續性。這一結果強調有必要縮短搜索範圍，並使用更有限制力的高產量限制影響量，一個例子是在圖 8-21 所示。



有關搜索參數和高產量限制影響量所產生的建議，從總銅的視覺驗證中獲得確認。

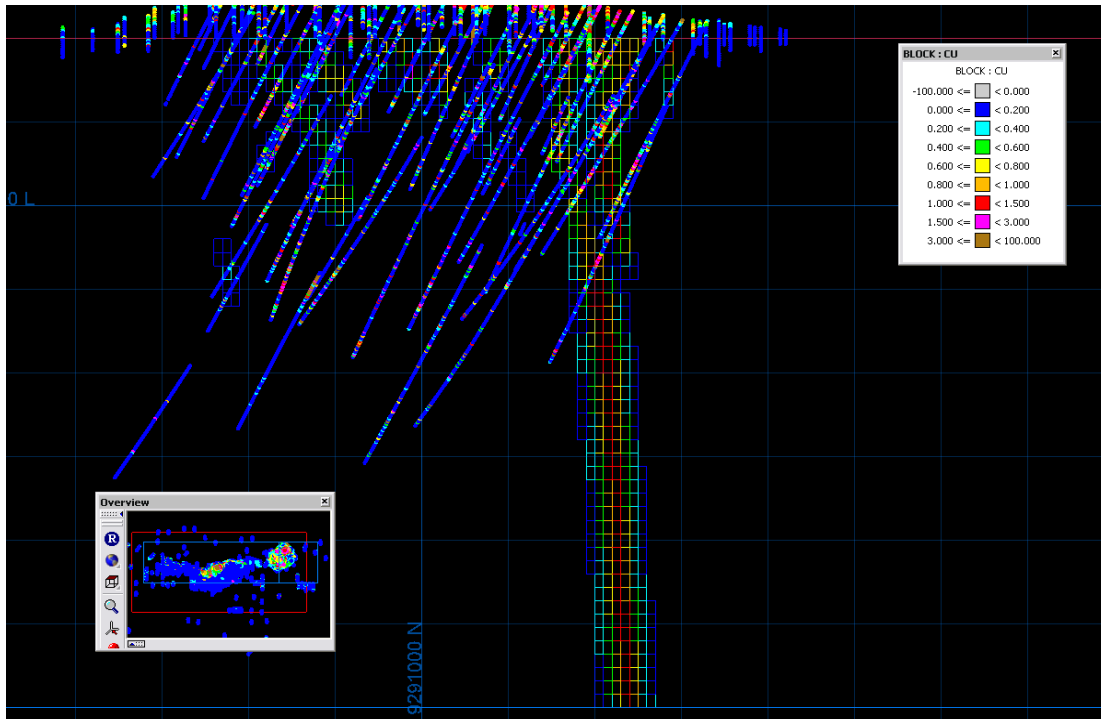


圖 8-21：側視圖@ E 605469 ± 100 米：總銅

對於總銅，視覺驗證表明，結果是可以接受的。然而，需要評估克立格計劃的潛在修改，以改善結果。

對於金評估，視覺驗證結果，與總銅的分析結果類似，一般來說，低高礦產等級區的再生產量是可以接受，高金容量控制的很好，但考慮內在的金等級的高可變性，結果是有些順暢。特別注意了領域 15，考慮到 8.12 節提供的建議，使用它作為一個獨立的評估單元。圖 8-22 顯示了一個比較平面圖，比較模組和代號為 15 的複合材料。在圖片中心高礦產等級量被支持，但只有兩個高礦產等級複合材料。當顯示所有的複合材料確實可用來評估領域（圖 8-23），一系列高礦產等級出現高礦產等級量的南部和東部。

金分析與總銅分析產生類似的結果：大量模組正在進行深度評估，沒有複合材料可用於支持連續性，這一結果強調有必要縮短金克立格計劃的搜索範圍。

一般來說，金評估可接受限制高礦產等級汙物，顯示高礦產等級複合材料的可控制量。礦產等級的連續性也充分發現。然而，分析突出了需要使用獨立的領域 15 用於評估用途及克立格計劃進行審查，以避免在沒有複合材料支持深度評估的大量不必要的平滑和大容量。



SOSSEGO 礦山

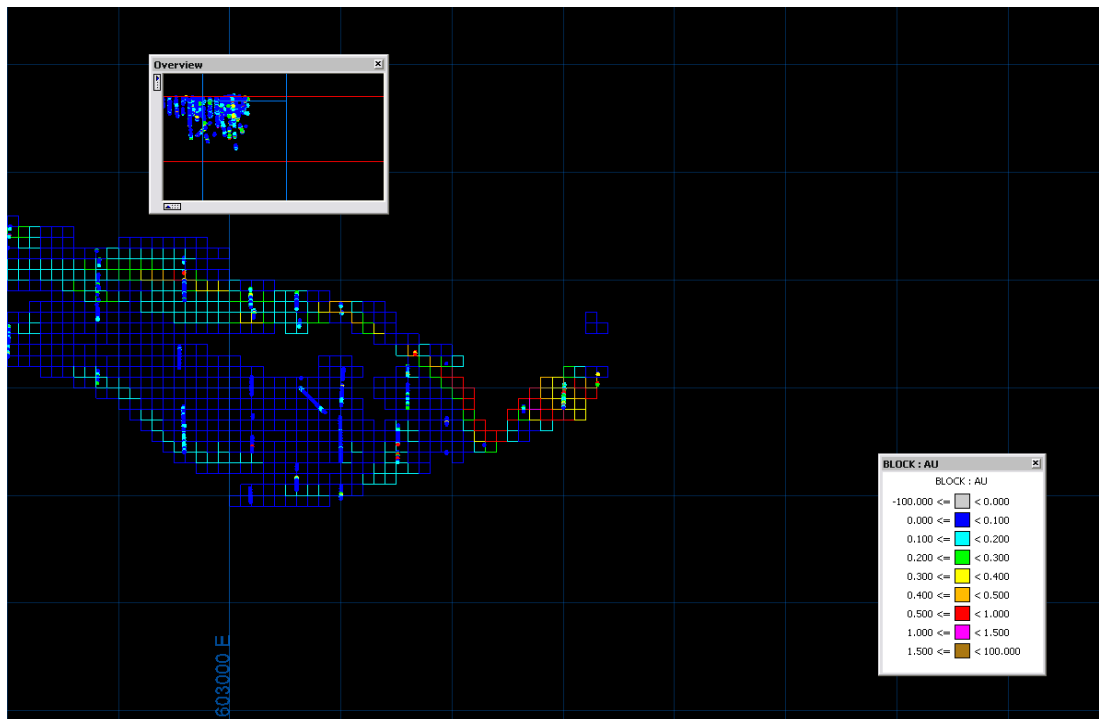


圖8-22：平面圖@ 150 米±30 米：金領域15（模組和複合模組）

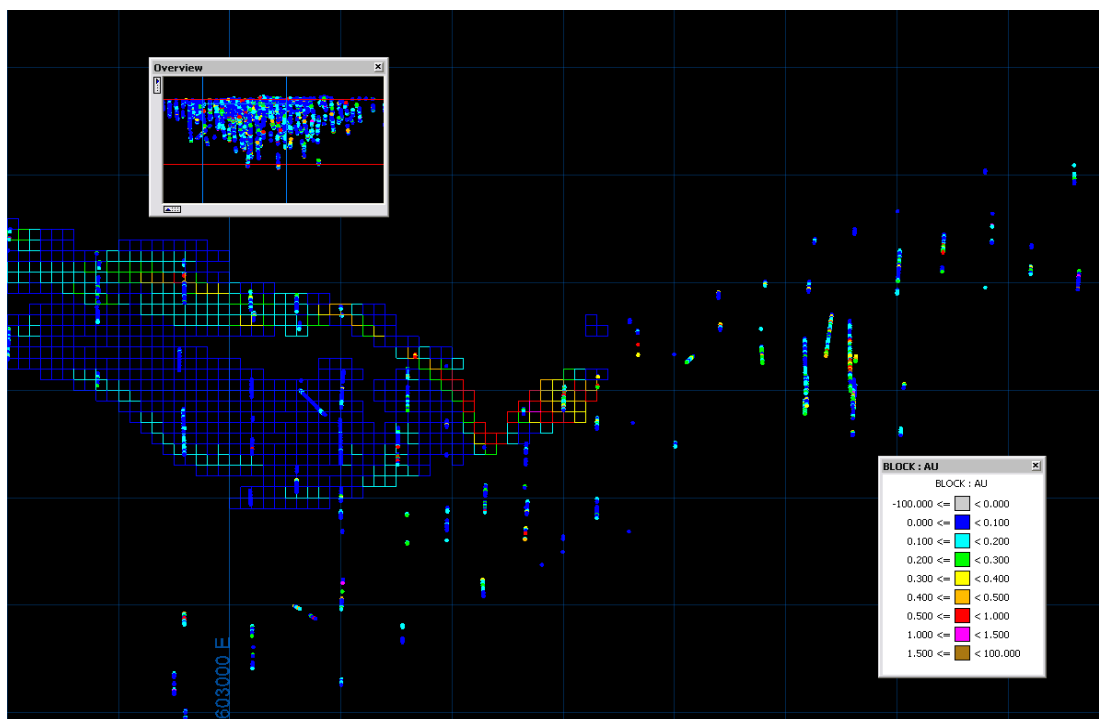


圖8-23：平面圖@ 150 米± 30 米：金領域域15（模組和複合模組的實際使用估計）



密度估計與複合模組值全面比較結果良好，同時發現另外兩個變數的密度也相當平滑，這是意料之中的，因為克立格計劃使用大的搜索半徑，同一樣品的配置和使用複合材料的數量低於總銅或金。

對於密度，視覺驗證表明，結果是可以接受的。然而，對於克立格計劃的潛在修改應進行評估，以改善結果。

測繪圖

在許多情況下，在複合材料和評估模組礦產等級之間的全面統計比較有潛在誤導性，因為它們受外推法的影響，不穩定的鑽孔範圍和領域的地理位置。為了進一步評估模組礦產等級的穩健性符合樣品礦產等級，在一個半局部法中，為 **Sossego** 銅礦產生了測繪圖。

測繪圖產生涉及平均面板 40 米（東）X40 米（北）的模組和樣品按 32 米（RL），然後將面板平均到東，北及 RL 測繪，以建構模組對複合材料值的趨勢圖。使用面板平均可生成分佈圖和礦產等級的 Q-Q 圖，以提供有條件的指示偏見和平滑度。在這些圖中，類似的兩個分佈會標定在 45 度線。重大偏差顯示存在過分平滑及偏差。

重要的是要注意，雖然全面統計資料顯示合併插值和外推的影響。測繪圖只能證明影響插值，為此，應該提出所產生的任何問題，因為它發生接近在樣品。

一般來說，總銅的測繪圖顯示在模組礦產等級和複合材料礦產等級之間好的符合性，當地模組模型礦產等級可以符合複合材料，雖然大多數領域產生平滑結果，由於選擇用於克立格計劃的大搜索半徑和高最少和最多數量的複合材料。總銅領域 85 的結果表明，模組模型的局部礦產等級塊與複合材料相比被低估了，這一結果與領域的全面統計分析相符。

大部分的金領域顯示出局部礦產等級的良好再生，雖然在所有測繪圖可以觀察到平滑。對於領域 15，25 和 45 的結果表明，有比複合材料更高的平均數。從領域 86 可以觀察到局部平均數被輕微低估。

密度測繪圖對於所有評估領域顯示良好的局部平均數再生。

盤點

使用生產資料，**Vale** 為了盤點目的製作短期模型。創建兩個解和模型：每月創建的短期模型，建立模組，一個大小為 10 米 x10 米 x10 米；和在每次出現新生產資料後即創建的「超短期」模組模型，模組大小為 5 米 x5 米 x16 米。

將資源模型與生產資料和兩個短期模型進行比較作為盤點練習，在比較中使用測繪圖。



同時，製作了一個 Q-Q 圖比較生產和複合資料至 20 米，圖中顯示爆破孔總銅礦產等級資料始終高於複合材料，所以比較資源模型以及估計的短期模型應受此影響。

結果表明礦產等級趨勢的良好相應性。正如所料，爆破孔顯示比模組評估更高的礦產等級，也可以看到平滑的模組等級。

比較結果表明，礦產資源儲量估計與生產資料相比性是可以接受。

資源模型和兩種短期模型之間的比較顯示獲得更高礦產等級的影響（與複合材料相比），資源模型作為在測繪圖中的「複合材料資料」，礦產等級趨勢很好地通過資源模型再現，但它的礦產等級低於短期模型。這些結果意味著，資源模型是保守的，尤其是對高礦產等級。

源分類

用於進行礦產資源分類估計的方法是基於與獨立格裡格法相關的一系列參數進行的。這通過比首次總銅量估計更短的搜索距離而進行估計的（定義估計範圍為相關圖的 95%）。考慮的參數為總銅量相關圖範圍內，距離最近的各向異性複合材料和複合材料的數量來通常用來估計塊含量。各向異性距離的計算是相對於 Gemcom® 東方向進行的。在插值模組（內鑽網格）和以及從單個鑽孔中推斷的模組之間進行區分，該分級方式如下所示：

已探明礦產資源：

- 各向異性距離最近的樣本 $< 1/2$ 的範圍內銅相關圖；
- 複合材料的數量 $\geq 2/3$ （最大限值）；
- 預計在第一階段（約等於相關圖範圍）；
- 或最近的複合距離 ≤ 20 米（僅適用於 Sequeirinho 銅礦體）。

推定礦產資源：

- 距離最近的各向異性樣品 $<$ 系列銅相關圖；
- 複合材料的數量 $\geq 1/2$ （最大限值）；
- 並預計在第二階段（約等於兩倍的相關圖範圍）；
- 或各向異性距離 $< 1/2$ 範圍銅相關圖（外推）；
- 或在第一階段估計（適用於 Sequeirinho 銅礦體和 Sossego 銅礦體）。這相當於至少 2 孔範圍內的相關圖。

推斷的礦產資源：

- 包括區域內的所有其他模組。

圖 8-24 顯示了該分類方法。

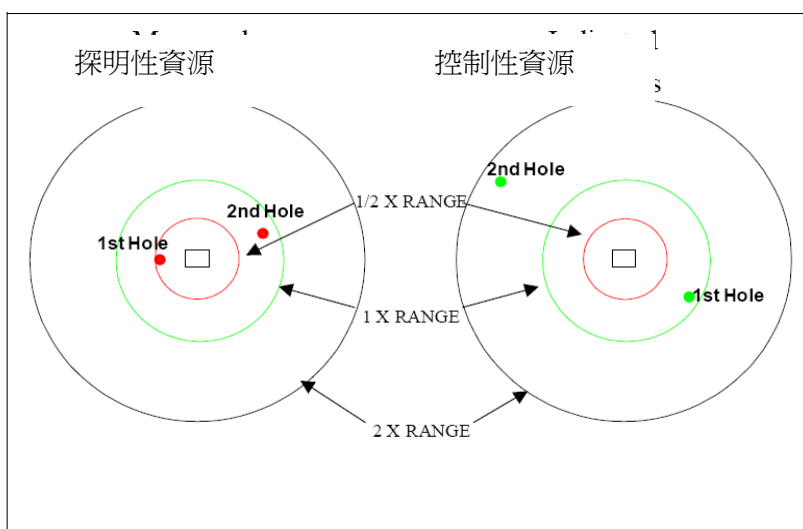


圖 8-24 : Sossego 資源模型的分類方法

該 Sossego 銅礦分類方法並沒有考慮平滑性。在不同分類別模組（如圖 8-25 所示）的周圍我們也可以看到孤立存在的模組，被稱為椒鹽效應。使分類結果更為平滑是一種良好的做法，因為這樣能夠得到更為連續和連貫的分類含量。在實際操作過程中，要小心進行平滑操作，以保持最終結果中不同類別的比例。

視覺化的分類分析同樣顯示了已探明資源與推斷礦產資源之間相接觸的區域（如圖 8-27 所示）。正確的結果應能夠分開已探明資源與推斷礦產資源，所以已探明資源與推斷礦產資源之間不應有接觸區域。這個問題需要得到解決。

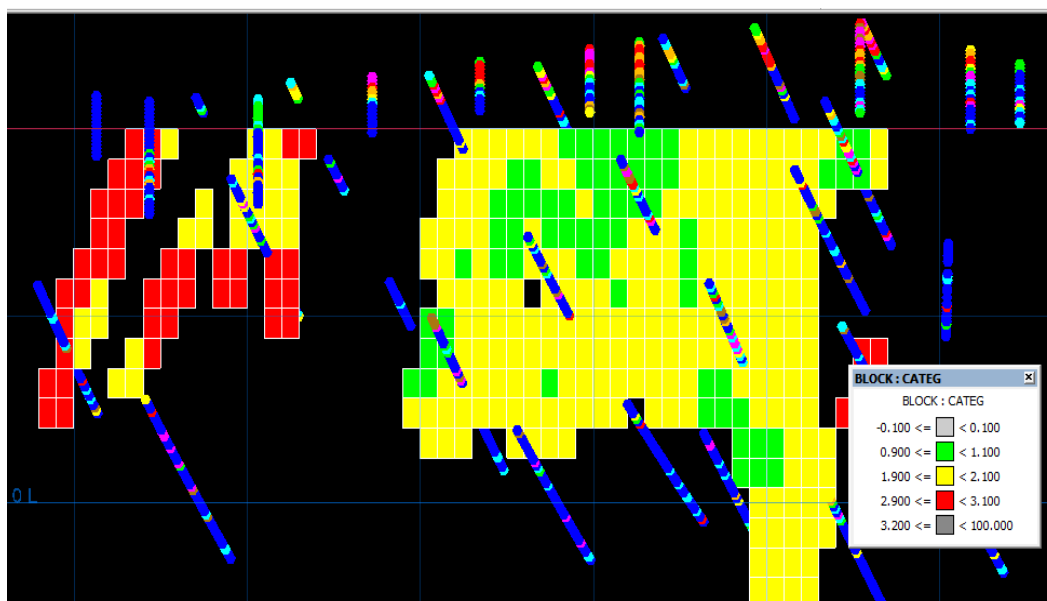


圖 8-25 : Sossego 銅礦分類椒鹽效應



SOSSEGO 礦山

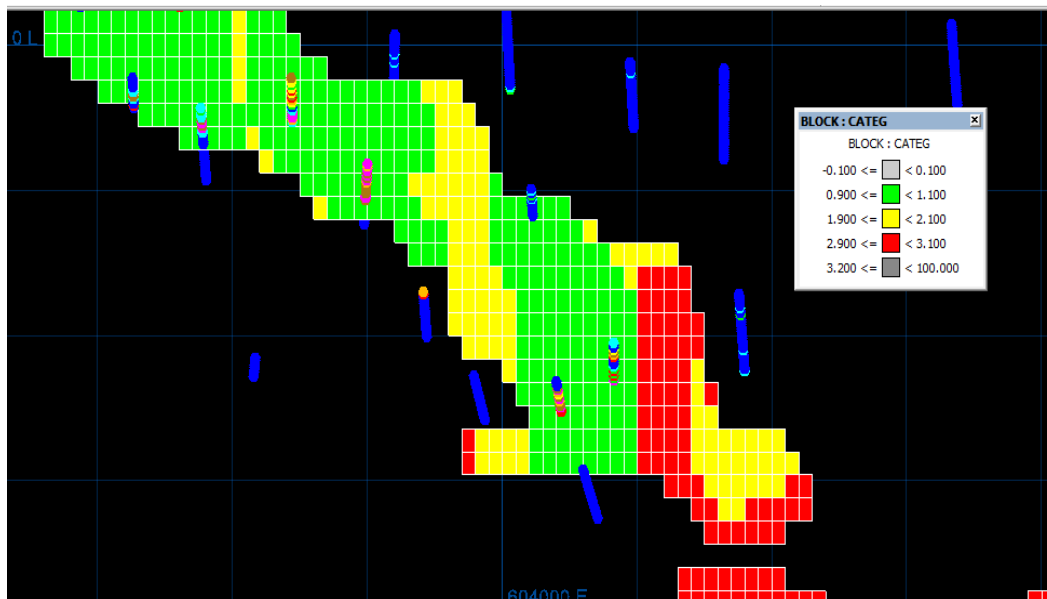


圖 8-26：Sossego 銅礦分類：探明性 — 推斷性礦產資源接觸

在另一模組分類上進行的檢查表明在第三或者第四通道上所估計的模組被劃分為已探明礦產資源或者指示礦產資源。考慮用於第三和第四克里格法的大尺寸搜索橢圓體，此情形下估計的任何模組都不得被分類為已探明礦產資源或指示礦產資源。

此情形下估計的任何模組都不得被分類為已探明礦產資源或指示礦產資源。

8.13 礦產儲量估算

採礦模型

Vale 利用 Gemcom 軟件創建了全面長期資源模型，成為向外公佈的資源和儲量資訊基礎。利用克里格法創建了用於氧化物和硫化物資源的單個模型，這些資源隨後將會合稱為單一的資源模型。

資源模組具有東西長 (X) 10 米，南北長 (Y) 10 米和垂直高 (Z) 8 米的尺寸。每個模組都將被分配一個代碼，以識別岩性區域。

為了便於露天礦山的優化和規劃，資源模型的常規尺寸被規劃為 10 米×10 米×16 米尺寸的模組。以提議的採礦設備為基礎來選擇模組尺寸使其接近於最小採礦單位 (SMU)。此外，地質代碼也進行了簡化使其能夠反應以經濟標準為基礎反應定義的材料類型。表格 8-29 中顯示了採礦模型中所使用的材料類型。

表 8-29：採礦模型中對材料類型的定義

編碼	定義
1	氧化的紅區



2	氧化綠區
3	氧化物礦和硫化物礦之間的過渡區域
4	硫化礦

在礦山規劃和礦產資源開發過程中使用採礦材料類型是創建合適模型的合理方法。

礦山規劃方法

礦產資源估計過程中所採用的主要假設方法：

- 以當前成本費用為基礎進行的資本和運行成本估計；
- 基於設備歷史性能而作出的濃密機中的金屬回收率；
- 2007 年修訂的岩土參數；
- 以公司自 2009 年 5 月估算的金屬價格和匯率。
- 只有測量以及表示的硫化礦物資源才能用於礦坑優化。

Whittle Four-X 方法主要用於礦坑優化。該優化方法能夠在所選擇的最終礦坑外殼上生成一組增量網格外殼。然後通過增量外殼分組來設計相應的階段，通常增量外殼受到礦物噸位、等級、採剝比和／或其他操作性要求。

一旦選定最終的礦坑，將利用 Gemcom 軟件進行礦坑限制及後推的詳細開發設計。利用美國 NCL 諮詢公司所開發的非商務軟件來完成邊界等級的優化和生產調度。分別採用 1.98 美元／磅和 700 美元／盎司作為銅和金兩種金屬的長期價格。

然後將會執行卸料場設計、運輸路線和設備調度的常規採礦規劃。在進行運輸路線分析時，將使用 PLAN-INT 軟件用於計算並優化運輸迴圈。然後使用這些資料進行經濟性評估。

Vale 所提供的各種各樣的計劃和報告都說明此工作正在以高標準進行中。長期和中期規劃過程是健全的，而且看起來都是由稱職的工程師執行的。



短期規劃

短期內規劃小組負責設計用於鑽井和爆破的多邊形或礦塊。在設計這樣多邊形的定義時，應考慮多種制約因素：

- 生產目標
- 設備尺寸
- 中長期物理性進展（階段）
- 礦石損失與貧化
- 工作區的可用性
- 邊坡的限制
- 安全性

這些多邊形將會提交給測繪部門，以便在礦坑中對其做標記。主要的計算任務是體積／噸位計算，報告和鑽爆設計。**Gemcom** 軟件正是用於此目的。鑽探和爆破團隊隨後在現場對這些爆破孔進行標記，隨後測繪團隊將這些鑽孔裝載到分配系統中。司鑽將按照顯示幕上顯示的樣式進行鑽孔。該測繪小組隨後將會選定鑽孔的最終位置，並將這些資料載入到資料庫中。

短期團隊將會開發月度計劃以便提供可行的操作方向。**Sossego** 銅礦工作人員表示打算制定一個滾動的三個月計劃來預測中期基礎設施的要求。該礦地質隊創建的短期模型。目前都以年為基礎單位進行短期和長期的模型協調報告。

Golder 公司支援以月度為單位進行短期模型和長期模型之間的協調，然後以季度為基礎進行彙報。

岩土參數

目前正實施一系列的程序，其中包括定期巡查露天礦坑的斜坡、傾倒場和尾礦壩的傾斜度。這些檢查的目的是驗證其穩定性，排水系統和持續的運作。

Golder Associates Brazil 在 1999 年到 2001 年之間參與了專案開發過程中的礦坑斜度定義。2005 年 1 月國際顧問 **Peter Stacey** 先生審查了現場條件和推薦一個資料收集的計劃，以審視斜坡設計標準，並建議使用控制爆破技術來改善採礦過程。從此，建立起一個監測計劃與控制爆破規劃。目前，與當地一家地質諮詢公司訂定合同，即利用主要取自平台測圖中的獲得的當前結構資訊來升級地質和地質模型。圖 8-27 顯示了礦坑優化過程中所採用的最大邊坡斜度。



SOSSEGO 礦山



圖 8-27：礦坑優化過程中所採用的最大邊坡斜度



圖 8-28：Siqueirinho 礦坑中的邊坡斜度

在礦坑優化過程中對 Siqueirinho 礦坑和 Sossego 礦坑的邊坡狀態進行了適當的建模，通常認為礦坑邊坡為礦產儲量的低風險區域。

Sequeirinho 露天礦場開採完成後將會出現約為 500 米的深坑。這是相當深的露天開採礦坑，因此在採礦過程中必須格外小心，確保最終礦坑四周的穩定性，以便能夠完全開採礦藏。



礦坑優化

對於礦產儲量估計來說，最重要的因素就是具有可用的合適礦坑輪廓。對於 Sossego 銅礦來說，通過採用項 Whittle 優化方法即實現了此優化。

金屬價格和銷售成本

表格 8-30 中顯示了優化過程中所採用的價格及銷售成本。這些合理的數值將會在優化過程中進行合理的應用。

表 8-30：礦坑優化過程中所採用的金屬價格和銷售成本

項目	數值
銅銷售價格（美元／磅）	1.98
銅銷售成本（美元／磅）	0.3812
黃金銷售價格（美元／盎司）	700
黃金銷售成本（美元／盎司）	0.01346

圖 8-29 顯示了過去十年內銅價格的變化趨勢，以及 Vale 用於礦坑優化和經濟性評估時所採用的金屬價格。圖 8-30 顯示了同類型的黃金價格走勢圖。



圖 8-29：國際市場上銅的歷史價格走勢圖以及優化模型中所採用的長期價格



圖 8-30：國際市場上黃金的歷史價格走勢圖以及優化模型中所採用的長期價格

將銅和黃金價格用於優化坑被認為是發展礦產資源的合適方法。此外所採用的數值符合普遍接受的美國證券交易委員會的指導建議，這種指導建議使用低於或者等於過去三年內的平均價格。

採礦成本

Vale 礦坑優化所採用的基本採礦成本為 2.29 美元／噸。此外還採用了採礦成本盤點因數 (MCAF) 來增加隨深度增加的成本。對於海拔高度低於 250 米的作業檯面來說，增加量為 0.0438 美元／噸。滿足 Whittle 函數的條件如下所示：

$$MCAF = R(IZ, 1 + (53 - IZ) * 0.0438 / 2.29, 53, 1.0)$$

Golder 公司已經檢查過開採成本，而調整因素已經適當地轉入到 Whittle 參數文件中。在 Vale 提供的參數檔和文檔中並沒有發現任何問題或者不一致之處。

處理成本與回收

優化過程中所使用的成本包括一般成本和管理成本。這個過程將會受到冶金回收和浮選回收的影響，表格 8-31 中列出了相應的數值。

表 8-31：礦坑優化過程中所採用的處理成本和回收成本

處理成本（美元／噸）	10.48
銅的回收率 (%)	$(90.9997156 - 0.363825 / (\% \text{銅}) * 0.9616)$
黃金回收率 (%)	77.845



在圖 8-31 中，黃金和銅回收率的變化是可以理解的。而對於銅來說，礦石模組中銅的最高含量為 8.3%，這也就意味著最大的回收率為 90.96%，對於金來說，礦石模組中金最高含量為 2.59 克／噸，但採用了 77.85% 的恒定回收率。

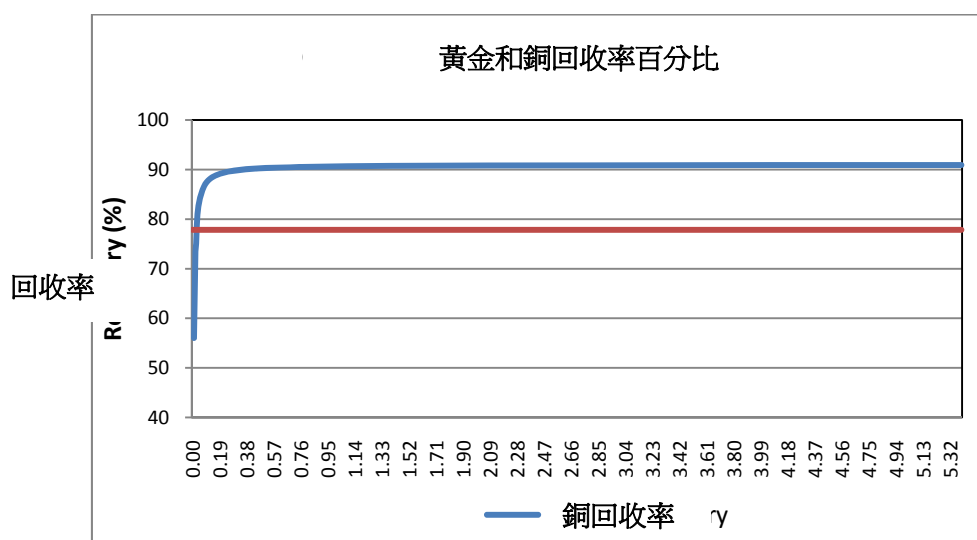


圖 8-31：銅與金的浮選回收

邊坡角度

在 Whittle 模型中應用了合適的邊坡角度。表格 8-32 中顯示了根據岩塊參數所定義的邊坡角度。

表 8-32：岩石邊坡角度

岩石學	花崗岩	黑雲母片岩	
		方位	方位
		≈285 °至≈75 °	≈240 °至≈285 °和 ≈75 °至≈120 °
工作台面邊坡角度	75°	65°	60°
邊坡角度	61°	56°	54°
全域邊坡角度	55°	52°	50°

礦坑優化所應用的邊坡角度符合岩土推薦建議。

優化結果

通常以 Whittle 檔的方式來提供結果。Golder 公司使用 Vale 提供的文檔和結果在 Whittle 方法中獨立進行優化，而得出完全一樣的結果。



圖 8-32 給出了用於未貼現現金流量和折扣現金流量的圖形。同時還包括每個增量礦坑殼上的礦石噸位和尾礦噸位。優化方法中所採用的收入價格區間為 0.89 美元／磅到 2.87 美元／磅。

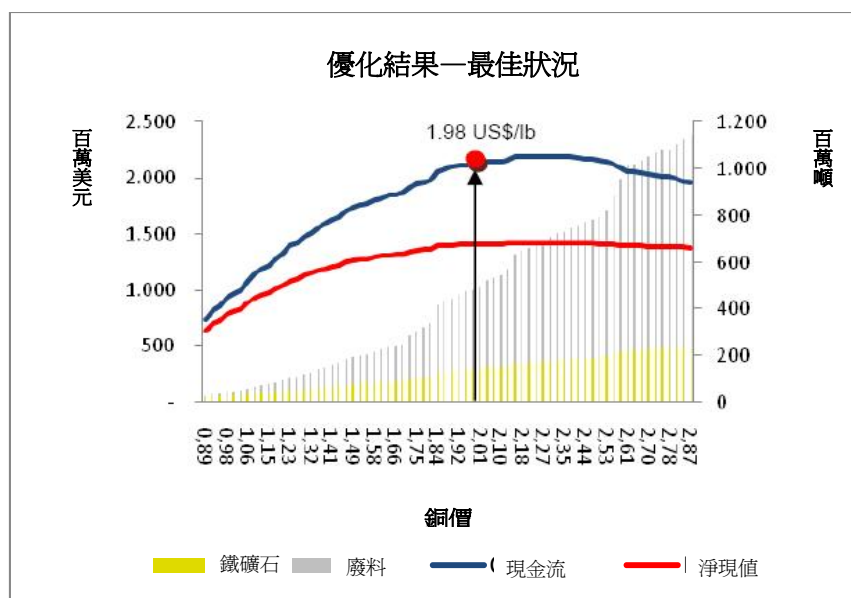


圖 8-32：優化結果：未貼現現金流和淨現值

選擇標準

最後選定的是礦坑號為 39，而對應的銅價格 1.98 美元／磅。此礦坑包括總儲量為 141.2 百萬噸的探明性礦產資源和控制性礦產資源，此礦產資源的平均品位為 0.97%銅和 0.27 克／噸黃金。表 8-33 給出了礦坑 39 的優化結果。

表 8-33：選擇 Whittle 結果作為最終的礦坑限值

礦坑	價格 (銅)	REM	總量 百萬噸	含硫礦物			含礦量			Custo 總量	總成本	所增加 成本	淨現值	UCF
	美元/磅			百萬噸	%銅噸	gpt 金	百萬噸銅	MOz 金	Kt CuEq	百萬美元	美元/磅 Eq	美元/磅 Eq	百萬美元	百萬美元
39	1.98	2.42	482.3	141.2	0.97	0.27	1,372.5	1205.7	1.565.8	3,759.8	1.09	1.57	1,412.8	2,119.1

礦井設計

選定最終礦坑限值後，有必要制定最終礦坑設計以及操作設計。表 8-34 顯示了噸位的優化和最終設計礦坑。結果對比顯示，操作設計中納入了大量的廢棄物。

表 8-34：Whittle 最終礦和作業設計的結果對比



SOSSEGO 礦山

「項目」	作業坑	Whittle 坑	增加
總物料	630,428,817	482,269,231	31%
廢物	485,975,270	341,085,030	42%
礦	144,453,547	141,184,201	2%
REM	3.36	2.42	39%

圖 8-33、圖 8-34 和圖 8-35 分別顯示了 Sossego 銅礦、Pista 銅礦和 Siqueirinho 銅礦坑設計與 Whittle 外殼之間的直觀性對比。這些圖顯示了設計複合優化設計輪廓，但我們注意到也出現了一些差一點，這主要是由於將邊緣階段融入到最終礦坑中。

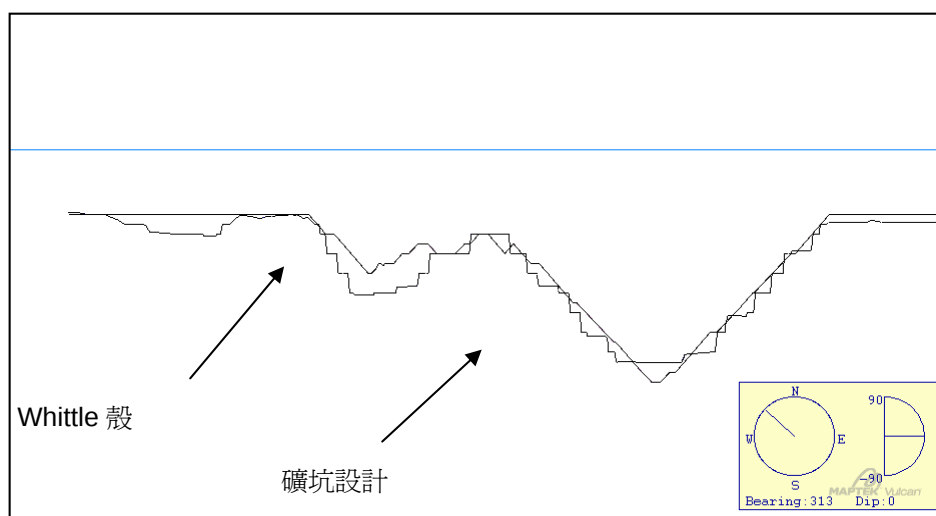


圖8-33：礦坑設計與Whittle 殼對比 - Sossego 銅礦



SOSSEGO 礦山

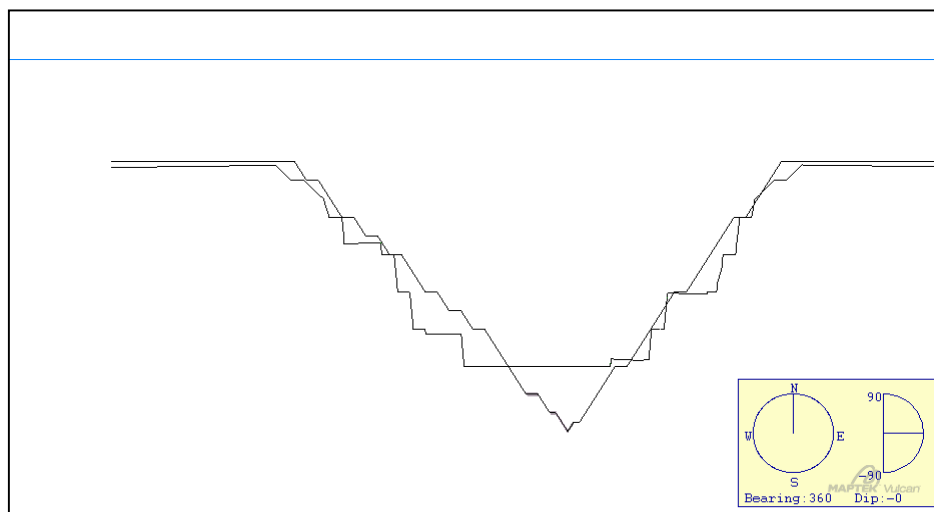


圖 8-34：礦坑設計與 Whittle 殼對比 - Pista 礦坑

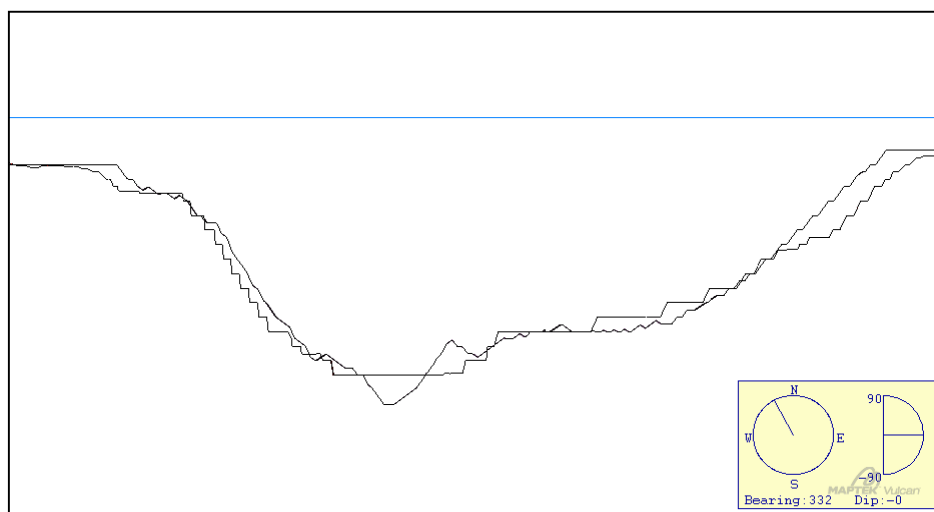


圖 8-35：礦坑設計與 Whittle 殼對比-Siqueirinho 礦坑

最終礦坑設計與所選擇的 Whittle 礦坑外殼之間的廢棄噸位差異被認為是過大的，因此應加以詳細審查。出現這種差異的原因可能是在礦井設計階段納入了邊際階段。在任何情況下，應採用適當的解釋來對這種水準差異進行存檔備案。這可能會大大提高礦井設計的潛在優化值。

已經於 Vale 的礦山設計中合適地採納岩土方面的建議。



採礦設備

Sossego 銅礦的採礦作業由鑽探，爆破，裝載和牽引組成。採礦設備還包括所有其他用於保持工作區域，礦山入口，尾礦傾倒和庫存的配套設備。表 8-35 顯示了 Sossego 銅礦所使用的設備清單。

表 8-35：當前採礦設備

設備類型	數量	工作容量	平均工作小時	生產率（噸／小時）
裝載設備				
BE 495 HR	2	73 jd ³	7,685	3413
P & H 4100 XPB	1	72 jd ³	3,667	3817
P & H 2300 XPA	1	18 jd ³ 或 28 jd ³	3,481	1700
Cat 994 D	4	19 jd ³	18,448	1250
運輸設備				
Cat 793 C	24	240 t	121,473	428
Cat 785 D	11	150 t	610,080	285
鑽孔設備				
Pit Vipper 351	3	12 1/4"	11,417	1923
Sandivic Titton – 合約	1	6 1/2"	7,389	-
Atlas Copco T4 BH – Vale	3	9 7/8"	11,558	-
BE 49 HR	6	12 1/4"	17,708	2810
輔助設備				
Dozer Cat D11N	8	850 馬力	36,849	
Dozer Cat D10 N	4	580 馬力	22,639	
輪式推土機 988 B	2	475 馬力	11,776	
電動機械 CAT 16H	7	275 馬力	30,000	
液壓挖掘機 CAT 330 B	1	220 馬力	4,618	
液壓挖掘機 Cat 3545 B	2	321 馬力	9,925	
推土機 CAT 854 G	3	800 馬力	17,645	

表 8-36 列出了 2010 年至 2022 年間的設備要求。我們注意到 2018 年前設備需求量將會保持恒定不變，而此後的礦井壽命週期內設備需求量將會出現逐漸的遞減。



表 8-36：當前礦山設備

Mina	Equipamentos	ANOS											
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produção	Pit Vipper 351	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	
	49 HR	6	6	6	6	6	6	6	5	3	2	1	
	T4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	DTH 6½"	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Perfuração	15	15	15	15	15	15	15	14	11	9	8	0
	P&H 4100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	P&H 2300	1	1	1	1	1	1	1	1				
	BE 495 HR	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Escavação	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	CAT 994	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
	Carregamento	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
	Escav + Carreg	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	4
	CAT 793	24	24	24	24	24	24	24	24	24	15	11	1
	CAT 785	11	10	10	10	10	10	10	10	8	5	5	3
	Transporte	35	34	34	34	34	34	34	34	32	20	16	4

以最近的資訊以及歷史的資訊為基礎進行了採礦設備的可用性、利用率和生產率估計，儘管這些估計值被認為略微低於行業標準值，但是對於這種類型的硬質岩石開採來說仍然是可以接受的。

LOM 計劃中的採礦設備被審查後認定是適合此用途的。在過去的幾年裡已經證明了採礦設備的有效性。

採礦損失或貧化

在優化過程中採用了 5% 的礦產貧化因數。而在規劃過程中則不會採用採礦貧化因數，如原噸位和等級的估計值將會直接應用於採礦計劃中去。

將原始資源模型轉化到含有一下兩種貧化類型的採礦模型中：

1. 利用廢礦和礦石的比例模型比例模型來計算最終礦石模組的等級；
2. 在銅礦等級單位與貧瘠單位相接觸的外部更寬範圍內，還需要在銅礦等級上使用附加的貧化率。

目前的盤點單位表明具有生產資料的長期模型存在較好的性能。這表明由等級估計過程和後過程合成的平滑等級，已經預算到在操作過程中發生的貧化率。

Sossego 銅礦工作人員表示人員表示，目前正在進行一項計劃以評估貧化作為盤點工作的一部分。Golder 公司贊同這一倡議。



邊界品位

爲了便於對礦產儲量進行估計，採用了經優化的 0.33%銅邊界品位。在邊界等級估計過程中使用了下面的公式：

$$Cut-Off = CTP / \{(PrCu - CvCu) * RcCu * (100 - PT) * 22.0462 * 100\}$$

其中：

CTP 版 = 處理，管理費用和再處理成本（美元／噸）

PrCu = 銅價格（美元／磅）

CvCu = 銷售成本（美元／磅）

RcCu = 冶金回收

PT = 運輸過程中耗損的精礦

該公式定義了支付處理和管理費用的邊界品位，其中包括 0.4 美元／噸再處理的費用。表 8-37 顯示了用於邊界等級計算的數值。

表 8-37：用於邊界等級計算的數值

「項目」	數值
銅價格（美元／磅）	1.98
銅銷售成本（美元／磅）	0.3812
冶金回收 (%)	90.5
運輸過程中耗損的精礦 (%)	0.5
CTP 版，處理，管理費用和再處理成本（美元／噸）	10.48
邊界 (%)	0.33

按照下列計算公式可得到平均回收率：

$$RcCu = f(Cu) = (90.9997156 - 0.363825 / (\% Cu) * 0.9616)$$

公式中礦產模組銅的平均等級爲，銅 = 0.675%。

邊界等級 0.33%的銅被用來估計 LOM 計劃並將應用到所有具有等同的銅品位的礦上。此估計是基於成本、價格和冶金回收率進行的。等效銅品位 (Cu_Eq) 的一般運算式如下所示：

$$Cu_Eq = Cu + \left[Au * \frac{(Pr Au - CvAu) * RCAu * RFAu}{(Pr Cu - CvCu) * RCCu * RFCu} * \frac{31.103}{22.0462} \right]$$



其中：

銅 = 銅品位 (%)

金 = 黃金品位 (克／噸)

PrAu = 黃金銷售價格 (美元／盎司)

CvAu = 黃金銷售成本 (美元／盎司)

RCAu = 金浮選回收率 (%)

RFAu = 黃金冶煉回收率 (%)

PrCu = 銅銷售價格 (美元／磅)

CvCu = 銅銷售成本 (美元／磅)

RCCu = 銅浮選回收率 (%)

RFCu = 銅冶煉回收率 (%)

31.103 = 轉換系數：盎司與克之間

22.0462 = 轉換系數：噸與磅之間

所使用的邊界品位方法是以 K LANE 1964 演算法為基礎進行的，主要是用於實現開採淨現值的最大化，它同時還考慮到了運動的局限性，處理能力以及礦產的濃度需求。表 8-38 給出了一段時期內的邊界品位戰略。將內部邊界等級和優化邊界等級之間的礦化值儲存起來，供以後處理。

表 8-38：適用於 LOM 計劃的可變邊界等級戰略

時段	邊界品位		
	SEQ	SOS	PISTA
2011 年	0.33	0.33	0.33
2012 年	0.40	0.40	0.40
2013 年	0.40	0.40	0.40
2014 年	0.40	0.40	0.40
2015 年	0.40	0.33	0.40
2016 年	0.33	0.33	0.33
2017 年	0.33	0.33	0.33
2018 年	0.33	0.33	0.33
2019 年	0.33	0.33	0.33
2020 年	0.33	0.33	0.33
2021 年	0.33	0.33	0.33
2022 年	0.33	0.33	0.33



8.14 礦產儲量報告

Golder Associates S.A.(Golder 公司)對 Vale 工作人員關於 Sossego 複合礦的礦產儲量報告估測結果進行了審計，公司發現所提供的數位適合國際標準規定的公開彙報原則，這些國際標準如美國證券和交易委員會 (SEC) 行業指導建議 7 和當前 NI43-101 法則。表 8-39 列出用於進行公開彙報的具有合適精度 Sossego 礦產儲量。

表 8-39：2010 年 6 月 30 日估算的礦產儲量

礦產	礦化類型	探明			推定			探明及推定		
		噸位 (百萬噸)	銅 (%)	金 (克 ／ 噸)	噸位 (百萬噸)	銅 (%)	金 (克 ／ 噸)	噸位 (百萬 噸)	銅 (%)	金 (克／ 噸)
Sequeirinho 銅礦	硫化物	88.64	0.99	0.28	26.72	0.92	0.24	115.35	0.97	0.27
	複合礦	0.15	0.40	0.03	0.16	0.40	0.08	0.30	0.40	0.05
	總數	88.78	0.99	0.28	26.87	0.92	0.24	115.66	0.97	0.27
Pista 銅礦	硫化物	7.56	0.80	0.10	1.25	0.75	0.09	8.81	0.79	0.10
	混合	0.08	0.40	0.01	0.09	0.64	0.09	0.17	0.53	0.05
	總數	7.64	0.80	0.10	1.34	0.74	0.09	8.97	0.79	0.10
Sossego 銅 礦	硫化物	4.35	1.03	0.33	11.62	0.80	0.24	15.97	0.86	0.26
	混合	0.00	1.12	0.17	0.01	0.76	0.27	0.01	0.78	0.26
	總數	4.35	1.03	0.33	11.63	0.80	0.24	15.98	0.86	0.26
Sossego 複 合礦	硫化物	100.55	0.97	0.27	39.58	0.88	0.23	140.13	0.95	0.26
	混合	0.23	0.40	0.02	0.25	0.49	0.09	0.48	0.45	0.06
	總數	100.77	0.97	0.27	39.83	0.88	0.23	140.61	0.95	0.26

Golder 公司接受 Vale 將礦產資源轉換成礦產儲量的操作方法。對礦產儲量數值進行了檢查，發現此數值適合於公開發佈，因為這些礦產儲量資料對現有礦產開採量提供了合理的估測。

將礦產資源估測值轉化為礦場儲量的過程是以合理的礦場設計和規劃為基礎的。在實際操作過程中，由歷史資料來支持對礦產貧化和回收的計算。並且按照合適的經濟邊界品位為基準來彙報礦產噸位和等級。



8.15 盤點與礦產儲量審計

以往審計

Golder 公司參加了 Sossego 銅礦項目在尾礦及岩土工程領域的早期研究。2004 年作為 Vale 企業審計的一部分，以符合美國證券交易委員會 (SEC) 的合規要求，Golder 公司對 Sossego 銅礦的礦產儲量曾進行了審計。之前，Golder 公司的礦石評估服務團隊並沒有參與 Sossego 礦藏的資源評估，以及礦場的規劃。

Vale 自 1998 年起對礦產資源和礦產儲量報告進行了審計，以支持其向美國證券交易委員會 (SEC) 提交的 F-3 表格申請，以在紐約證券交易所首次上市及公開發售 Vale 股票。

1999 年進行了預可行性研究為目的的審計工作，外部審計師是美國的公司 Mineral Resources Development, Inc. (MRDI)。而 MRDI 於 2000 年五月被 AMEC 公司收購。

KVAERNER 公司與 AMEC 公司分別對 2001 年和 2002 年的可行性研究進行了審計，主要是為了驗證升級的資源模型，2003 年，Snowden 集團完成了審計工作，並驗證了完整的資料庫和資源模型。

2004 年 12 月 31 日，Golder Associates 參與 Sossego 銅礦的礦產資源儲量評估審計工作中，而 AMEC 公司於 2006 年早期完成了 Sossego 銅礦的礦產儲量審計。這些報告是為支持 Vale 向美國證券交易委員會 (SEC) 提交 20F 年度報告。

保留了 Pincock, Allen & Holt (PAH)，使其在 2008 年 2 月的 Sossego 銅礦礦產資源儲量聲明上進行說明，這些礦產資源儲量說明是以 2005 年 AMEC 公司的審查報告和礦產資源盤點報告為基礎的。這些報告是在支持 Vale 的 20F 年度報告並提交給美國證券交易委員會 (SEC)。

盤點

通過採用採礦調入系數來完成 Sossego 銅礦的盤點，這其中包含了下列的資源資訊：長期模型 (STM)；短期模型 (STM)；破碎礦石量 (TSC) 和加鐵礦石量 (PO)。使用相同的基礎來獲得控制系數，其中噸位和金屬含量都是以乾量為基礎，系數計算過程如下所示：

- $F1 = STM / LTM$
- $F2 = PRD / STM$
- $F3 = PO / TSC$

下圖顯示了 Sossego 複合礦的開採調用系數，其中還採用了 2009 年 12 月 31 日的地表面積資料。藍色用於表示噸位測量值，而紅色則用於表示銅礦等級，綠色則代表銅的含量。紅色控制線是 Vale 內部礦產儲量委員會所能接受的控制線，而藍色控制線則是 DIOC 所能接受的控制線。

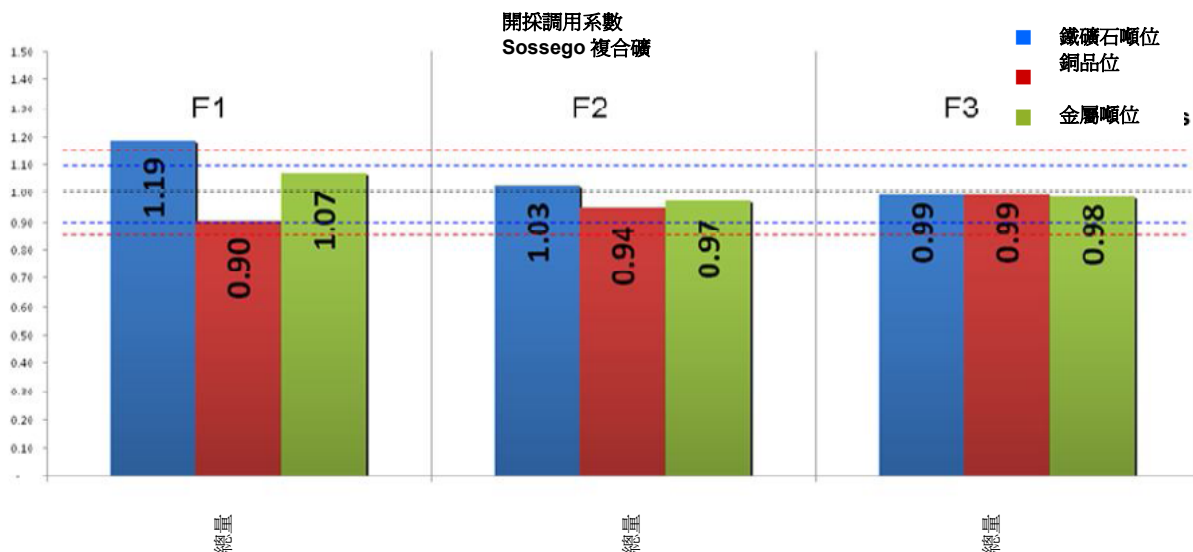


圖 8-36：2009 年盤點結果

2009 年的盤點結果表明良好的計劃一致性和已實現生產計劃。盤點過程被認為具高標準。

等級控制

礦石等級控制是以 Sossego 銅礦的鑽孔資料為基礎而得到的。測量師通過使用高精確度的 GPS 設備獲得這些鑽孔的具體位置。使用長約 40 釐米直徑約 8 釐米的探測器來收集這些鑽孔樣本。每個區域切割過程中需要將探測器插入四次以獲得約為四公斤的礦石樣本。在礦石樣本被取出前不會進行二次鑽孔，取出後會在礦石樣本中再次進行二次鑽孔。將礦石樣本放置於塑膠盒子內，並通過劇烈晃動盒子的方法使這些礦石均勻排布。然後將均勻的礦石樣本放置於 JONES 分離器並分離成兩個樣本，裝袋並加上編號。最終的礦石樣本約為兩公斤，按照這種方式，就能在現場製成兩個樣本。

並不是所有鑽孔都能夠進行礦石採樣的。地質學家負責確定哪些礦石適宜抽取樣本。樣品被送到實驗室的處理廠中進行化驗。銅檢測大約需要 8 小時，金監測大約需要 24 小時，而其他附加元素（銀、鉑、氯和 F）監測則需要 36 小時。該檢測結果將會送到地質部門，然後將其放置於礦石控制資料庫中。

地質部門負責創建輸出到調度系統的礦物化多邊形。這些多邊形同時也包括了從自由面爆破中散落出的材料區域。

生產控制

調度系統是用來控制所有採礦設備的活動的。卡車和配套設備採用低精度的全球定位系統。鑽機和其他鑽孔設備則採用高精度的全球定位系統。平台上並沒有礦石和廢礦的物理標記，因為採礦設備操作者可以通過屏幕，在網上獲得採礦界限區的資料。



調度系統中留有與生產、延遲和可用性相關的統計資料。處理工廠控制室中的系統每班次調度運行一次。系統似乎有良好的操作和維護。

運輸系統來自於卡特彼勒卡車公司的 VIMS 系統。這能夠記錄卡車上的載重資訊並將資訊傳送到調度伺服器上。若卡車上的磅不能運作，則會使用基於歷史資料而得出的具有代表性的負載系數。

必須創建每日報告以便進行與生產統計相關的管理。

8.16 環境

Golder 公司人員在現場考察期間採訪 Sossego 銅礦的環保團隊與礦區環境相關的問題。

Vale 擁有所有巴西法律規定的經營 Sossego 銅礦所具有的環境許可證。Golder 公司確認 Sossego 銅礦運行過程中不存在與環境相關的致命缺陷。

Sossego 銅礦的經營管理承擔了相應的環境責任和義務。

8.17 社區及政府事務

在當地社區和政府事務上，並無發現就 Sossego 銅礦開採，對礦藏將構成風險的問題。當地社區和兩級州政府和聯邦政府都對此區域的開採活動表示支持。

Vale 目前正在進行與 Sossego 銅礦開採區域相關社區的相關的計劃。目前並無與附近居民和其他第三方出現已經登記在冊的重大衝突。

距離最近的大城市為 Canaa dos Carajás 和 Parauapebas（85 公里），由於礦業的蓬勃發展，後者是巴西發展最快的城市。

8.18 營運成本

採用了當前運行成本作為長期估計量，以進行兩個礦坑的優化和經濟性分析。而消耗成本是基於目前的原材料合同，其中還包括交付成本計算。表 8-40 列出了 Vale 評估的 Sossego 銅礦的運行成本。

表 8-40：運行成本

銅價	美元 2.73／磅
開採成本	3.33 美元／噸
處理成本	8.74 美元／噸
物流	37 美元／噸



8.19 資本成本

維持採礦生產所需要的設備更換以及其他可持續性運行資本成本預估為 6 億美元。在經濟評估過程中，已經對成本正確估算。

Golder 公司已經審查了當前 Sossego 銅礦運行過程中的成本資料。長期運行成本和資本成本估算方法滿足行業標準的要求。

8.20 稅務

在巴西，由聯邦，省或市級徵收的稅種有七個，其中還包括關稅和特許權使用費。徵收的稅種包括 CFEM（企業所得稅）和 CSLL（企業利潤社會貢獻稅），這也是一種所得稅。各種礦產品需要繳交的企業所得稅各異，對於鎳礦來說企業所得稅為總收入的 2%（減去運輸成本）。此外，根據產品是用於本地市場還是出口市場，所應用的稅種也不盡相同。我們以 Onça Puma 為例進行說明，通常假設 90%的鎳產品都銷往出口市場，剩餘的 10%的產品銷往國內市場。

根據總利潤來計算所得稅（收入減去經營成本和折舊），並且稅率固定在 25%的水準。而企業利潤社會貢獻稅則固定在 9%。所有徵費合併後的稅率而言，銷往國內的產品大約需要徵收 15%的稅率，而銷往國外的產品的稅率約為 15%到 20%。

8.21 礦產資源儲量經濟評價

Golder 公司的顧問公司沒有獲得關於 Sossego 銅礦按現值計算的現金流量（DCF）試算表的副本；但 Golder 公司被允許在 Vale 保密電腦上審查和審計按現值計算的現金流量的試算表，以便理解此模型並保證評價的準確性，以及測試主要輸入變數的專案敏感程度。

主要假設

礦產儲量外部審計報告中，第一卷聯合報告的主要假設部分列出了 Sossego 銅礦運行過程中經濟性分析所使用的主要參數。

Sossego 銅礦現金流量評估

現金流量預測是基於 2009 年模型 2010 年 6 月更新範本上實現的，這其中包括包括最新的礦產資源儲量枯竭評估，礦坑優化審查；經營成本增加，同時還反映了下列的假設：

- 基於稅後貼現率為基礎進行的金融計算。
- 按照本報告中 8:20 部分的說明計算的稅項。經濟模型中還包含了在適當和合適情況下適用的免稅期、延期、回收率等項目。
- 所有成本和價格都是以未升值前的「實質」美元為單位進行計算



- 經營成本包括固定成本和以採礦計劃為基礎得出的可變現金開採成本，而採礦和交付可變成本則是基於截至 2010 年 6 月底的實際成本為基礎而進行的。
- 封閉現金成本包括年度資本分期，採礦規劃完成後的一次性付款
- 單位成本假設是以 2009 年規劃的金屬產出量為基礎進行的（Golder 公司的諮詢公司並未審查）
- 未來單位成本假設類似的金屬生產過程
- 資本成本包括所有相關部門的預計開支
- 生產僅以 Sossego 礦產儲量為依據，經濟性分析過程中沒有包含任何外部供料或精礦供給。
- 銅回收率是基於一種粉磨機模型而得到的，對相應系數進行升級以使其滿足生產計劃（Golder 公司的諮詢公司並未審查）。
- 以美國證券交易委員會報告要求為基礎（三年平均浮動價格），通過可回收金屬和長期金屬價格預測來計算總收入。其中還包括了銅礦的銷售收入，這是基於所含有的金屬量、金屬價格和匯率系數和長期預測價格為基礎進行的。

敏感性分析

Golder 公司被允許在 Vale 保密電腦上審查和審計按現值計算的現金流量的試算表，以便理解此模型並保證評價的準確性，以及測試主要輸入變數的專案敏感程度。

據觀察，該模型包含建設成本，複墾成本和停產成本，詳細的聯邦及省稅表，維持資本免稅額，正確的時間表。該基地的成本和價格的假設情況下已更新自 2009 年發佈的財務模型，而這些變化都反映在財務模型。

使用三年移動平均價格的假設情況對個別年份的現金流量的基本情況進行觀察。利用按現值計算的現金流量的試算表，進行了重大改變價格和成本假設以測試專案經濟的穩健性。由於並無向 Golder 公司提供此模型，不能進行詳細的敏感性分析，但是，這些案件涉及製造測試 $\pm 20\%$ 的變化，在五個百分點遞增，鎳的價格，資本開支，經營成本和外匯。此外，Golder 公司曾測試改變貼現率 6% 至 10%，增量的半個百分點的影響。

結果如圖 8-37 所示。

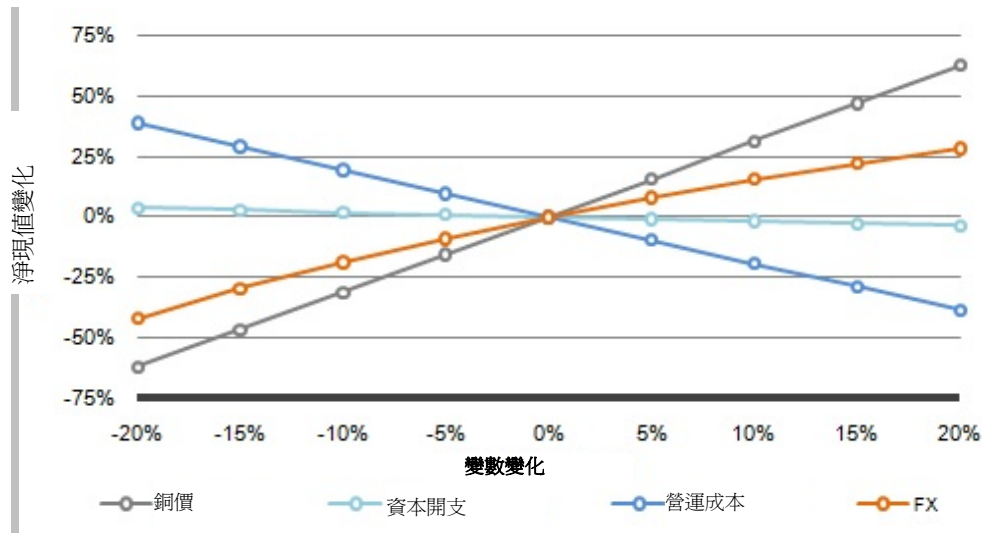


圖 8-37 : Sossego 銅礦敏感性分析

淨現值對銅價格的敏感度是最高的，而其他變數則對淨現值存有重要但是相對較低的敏感度。銅價被認為是一個非常重要的價值驅動因素。而淨現值對資本開支的敏感度最低。

結論和建議

無論採用成本還是定價假設（Vale 和三年浮動平均值）的方法，都對礦產資源轉為礦產儲量得出正面的項目經濟效益。根據敏感性分析，在所有情況下測試的淨現值都是正面，顯示該項目有強大的經濟效益。

8.22 礦山壽命

LOM 計劃是用於輸入到現金流量分析中的，它顯示了操作的經濟可行性以及礦產儲量。在完全以礦產儲量為基礎進行分析，適用於 Sossego 銅礦的 LOM 計劃，得出礦產的壽命週期為 12 年。

表 8-41 LOM 計劃給出的 Sossego 銅礦採礦週期時間為 2010 年 3 月到 2021 年 12 月



	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
總採礦量 (ktpa)	59,290	70,051	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	60,000	40,000	25,000	20,000	9,500
廢礦清理 (ktpa)	42,162	50,424	49,927	48,160	47,644	48,522	50,880	56,029	44,729	22,014	8,746	5,738	-
礦石生產 (ktpa)	17,128	19,627	20,073	21,840	22,356	21,478	19,120	13,971	15,271	17,986	16,254	14,263	9,500
OMs (ktpa)	5,172	7,164	6,349	6,233	6,638	6,301	6,120	5,359	6,700	4,986	3,800	5,425	9,500
採剝比	3.53	4.05	4.07	3.72	3.48	3.20	3.91	6.51	5.22	1.69	0.70	0.65	0.00
給料 Mt (dmt)	9.88	12.95	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
給料等級 (%銅)	0.97	0.92	0.91	1.04	0.98	0.95	0.91	0.71	0.75	0.98	0.98	0.94	0.35
給料等級 (%金)	0.22	0.24	0.27	0.31	0.26	0.23	0.06	0.04	0.05	0.11	0.16	0.18	0.09
濃縮礦 (tbs)	296,756	360,658	358,292	409,318	388,665	374,856	359,069	280,421	294,779	385,779	387,423	372,223	96,467
銅品位等級 (%)	29.71	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70
金等級(克／噸)	5.9	7.7	8.1	8.1	7.6	7.3	4.8	5.4	5.4	5.3	6.1	6.5	8.0
回收率	90.4	89.1	89.1	89.3	89.2	89.1	89.1	88.7	88.8	89.2	89.2	89.1	86.7



參考文獻

AMEC 公司；2006。ValeVale 儲備的審計報告，2006 年 5 月附錄 G。

JORC，2004 年，澳洲勘探結果、礦產資源及儲量報告準則（JORC 準則）。由澳大利亞採礦和冶金研究所聯合礦石儲量委員會編製，自 2004 年 12 月 17 日生效。

Vale, 2003. Projeto Sossego. Certificação dos Padrões Internos de Projeto. Relatório de Avaliação Estatística do Teste Interlaboratorial de Certificação.

Vale, 2003. Projeto Sossego. Certificação dos Padrões Internos de Projeto. Relatório de Avaliação Estatística do Teste Interlaboratorial de Certificação.

Vale, 2004. Relatório Técnico de Atividade Controle de Qualidade das Análises Químicas Campanha de Sondagem 2002/2003. Brancos e Padrões de Projeto, Duplicatas externas (Lab. Secundário), Duplicatas internas (Lab. Primário). Relatório Consolidado.

Vale, 2010. 儲量說明報告 – 2010. 摘要版本。地質和採礦規劃的長期管理 – GALOY。銅礦部 – DIOC. Carajás – Parauapebas - Pará – Brazil.

Vale, 2010. Sossego minning complex, Mineral Resource and Mineral Reserve Estimate. 2010 Technical Report.

Vale, 2010. PRO_0010_ GALOY_Ensaio de densidade-rocha sã_REV06.doc.

Vale, 2010. PRO_0011_ GALOY_Ensaos de densidade - saprolito não estruturado_REV05.doc



GOLDER ASSOCIATES SOUTH AMERICA LTD.

Marcelo Godoy
主要礦石儲量分析師 (CP)

Ronald Turner
高級資源地質學家 (CP)

MG/RT/CB/lsc/dh

Golder 公司、Golder Associates 和 GA 全球設計公司為 Golder Associates Corporation 的註冊商標。

c:\golder\projects\10-1117-0032_vale_global_audit\reports\filling\posted\update\vale_reserve_audit_v2_s8_sossego_filing_2010_09_21.docx



**Golder Associates South
America Ltd.**

**Av.11 de Septiembre 2353 -
Piso 2**

Providencia

Santiago

Chile

電話：+56（2）594 2000

