



Vale計劃通過建設兩個為生產球團用粉礦提供鐵英岩礦石專門加工的新廠來提高Fábrica業務的產量。第一個年產量1,000萬噸的工廠將於2014年建成，第二個年產量1,000萬噸的工廠將於2016年建成。此儲量報告通過這些工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展一個關於Fábrica礦區鐵英岩項目的可行性研究，但未能用於此儲量評估。Vale已經為Pincocock公司提供各種工程研究和報告及資本和運營成本的估計，以證明開採加工鐵英岩礦石的技術和經濟可行性。

Fábrica礦區的礦產可運到位於Espírito Santo州Vitoria附近的Tubarão港或里約熱內盧州Itaguai附近的Sepetiba港。鐵礦產通過鐵路運到三個港口中的一個。Tubarão港由Ferro Vale鐵路路線通達，而Volta Redonda和Sepetiba/Guaíba則由Ferro MRS鐵路路線通達。Ferro Vale乃Vale全資擁有，而Vale乃Ferro MRS的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，同時確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。

1.1.2 Vargem Grande綜合項目

Vargem Grande採礦業務乃Vlae的南部體系礦業的一部分，位於Minas Gerais州南中部的鐵四邊形地區(Quadrilátero Ferrífero)。該業務屬於Nova Lima直轄市範圍內。Vargem Grande採礦業務由三個露天採礦場Capitão do Mato、Tamanduá和Abóboras礦場組成，它們的礦石供給Vargem Grande選廠。三個礦場均距離Belo Horizonte 20至40千米不等。圖1-2顯示Vargem Grande業務的整體位置，圖1-3顯示三個礦場和選廠的航空攝影圖片。

2008年Vargem Grande業務的預計產量約為5,540萬噸含鐵量65%的原礦。目前的礦產有赤鐵礦和高品位鬆散鐵英岩礦。三個礦場採得的原礦礦石在各自礦場經過乾法破碎和篩分，再運輸到Vargem Grande選廠加工成塊礦、hematitinha礦（於當地銷售的產品）、燒結用粉礦及球團用粉礦。

Vale計劃通過建設為生產球團用粉礦提供鐵英岩礦石專門加工的新廠來提高Vargem Grande礦區的產量。首個年產量1,000萬噸的工廠將於2011年興建，第二個年產量1,000萬噸的工廠於2015年興建。新廠將建於已有選廠附近地區。當前儲量報告通過這些工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展一個關於Vargem Grande礦區鐵英岩項目的可行性研究，但未能用於本儲量報告。Vale已向Pincocock公司提供包括FEL 2預可行性研究在內的各種工程研究和報告及資本和運營成本估計，以證明開採加工鐵英岩礦石的技術和經濟可行性。

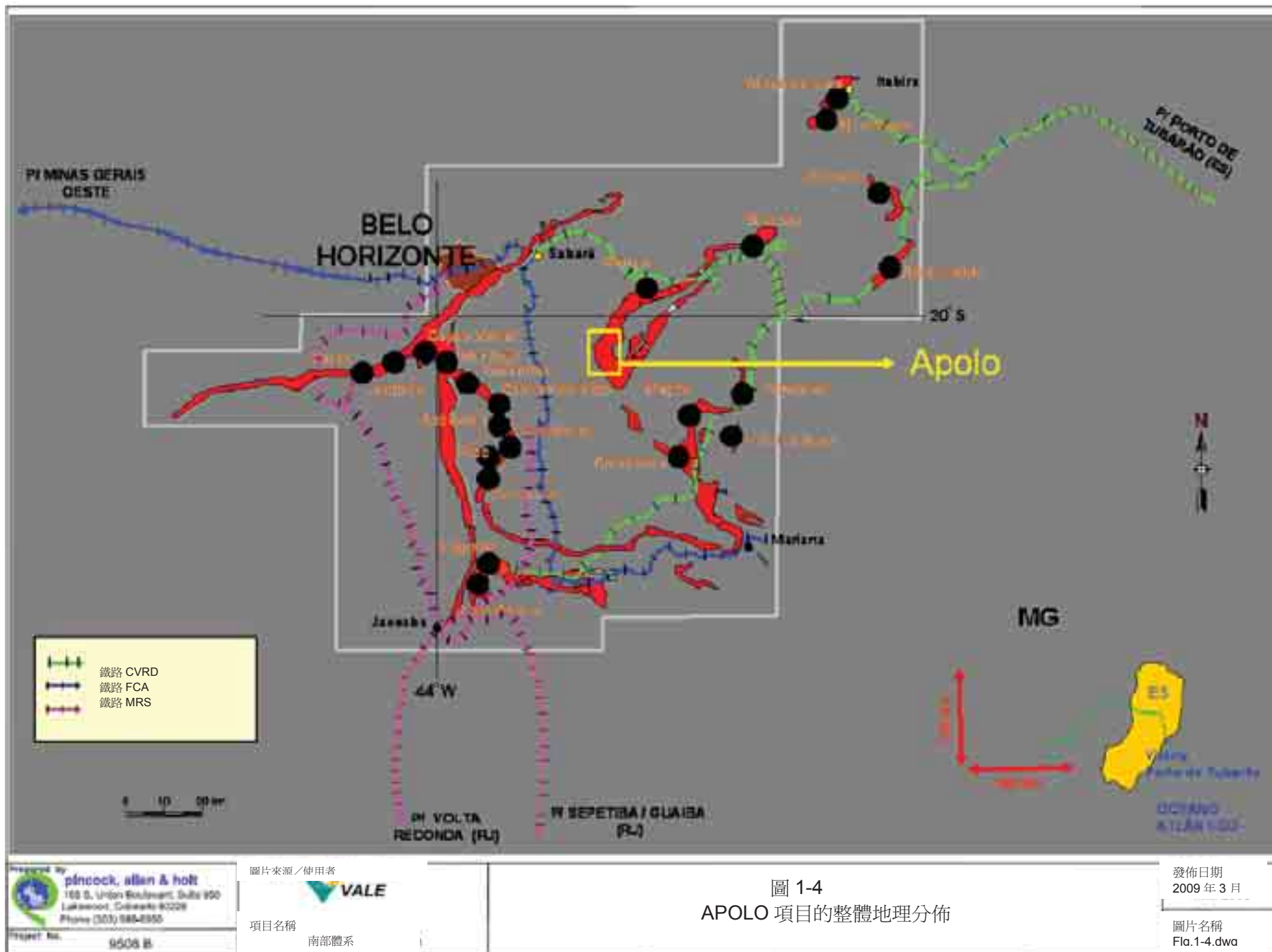
Vargem Grande業務的產品通過Ferro MRS鐵路線路運到位於里約熱內盧靠近Itaguai的Guaíba Maritime終端綜合項目。Ferro Vale乃Vale全資擁有，而Vale是Ferro MRS的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，同時確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。

1.1.3 Apolo項目

Apolo項目（原為Maquiné項目或Apolo-Maquiné項目）是一個位於Rio Acima、Raposos、Caeté和Santa Bárbara自治區的鐵四邊形地區中部的未開發礦產資源，距離Minas Gerais州首府Belo Horizonte約40千米。圖1-4顯示該項目的整體位置。Mato Grosso、Extramil及Apolo等項目分佈於三個採礦權區。Vale於2004年獲得Apolo採礦權，勘探大幅提高了此項目所界定的資源量。

Apolo項目是Vale據Vargem Grande和Fábrica礦區供生產球團用粉礦的鐵英岩礦擴張而計劃的新擴張項目之一，與其他赤鐵礦和高品位鐵英岩儲量大減少的礦場相比彰顯南部體系的產量。Apolo項目將發展為一個大規模的露天採礦場，預計於2013年投產。初始產量為高品位礦石（赤鐵礦和豐富的鬆散鐵英礦）的原礦（ROM）1,360萬噸／年，兩年後增加至3,300萬噸／年。首期選礦廠將從高品位礦生產出1,810萬噸燒結用粉礦及790萬噸球團用粉礦。在第四年，第二個選廠將投入生產，為約900萬噸／年的球團用粉礦生產處理約2,000萬噸／年的低品位鐵英岩。總產量將維持在5,200萬噸／年原礦直至第14年，屆時富礦減少且產量下降至3,300萬噸／年的低品位礦物。

完成Apolo項目需要超過21千米的鐵路延長線以及約24千米的新輸電線路。將興建容積為53公頃的蓄水池和464公頃的尾礦庫。最重要的是開發一個新礦山和建設選礦及附屬設施。礦區產品首先被運到Espírito Santo州Vitoria附近的Tubarão港。最後，礦石能從里約熱內盧州Itaguai附近的Sepetiba港運出。Tubarão港由Ferro Vale鐵路線路通達，Volta Redonda和Sepetiba／Guaíba港由Ferro MRS鐵路線路通達。Ferro Vale乃Vale全資擁有，而Vale為Ferro MRS的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。



此儲量報告通過上述工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展Apolo項目的FEL 3（預可行性研究）研究，但尚未可用於本儲量報告。已經提供FEL 2（預可行性研究）的研究結果，但是作為FEL 2研究的結論，此項目之規模已擴大至包括第二期選廠建設以處理鐵英岩礦石。Vale已經為PincocK公司提供各種工程研究和報告及資本和運營成本估計，以證明Apolo項目的開採與加工之技術和經濟可行性。

1.1.4 選址與氣候

Vale的南部體系礦場所在地區以中等陡峭地形為特徵，地貌高差沿山脈頂部自600米到1,500米不等。該地區原本覆蓋的熱帶森林曾被大量砍伐，現在種植大面積的桉樹人工林，同時維持放牧草地。巴西關注天然物種的復原，Vale通過完全使用當地可永久再生的物種已將此點結合到礦區復墾工作中。年平均氣溫約為18°C。6月至8月的平均較低溫度為8°C，1月至2月的平均較高溫度為24°C。年降雨量約為1,500毫米，此數值主要出現在10月至3月的雨季，6月至8月則相對乾燥。年蒸發量約為1,000毫米。

1.2 過往審計

Vale於1997年開始對其礦區的呈報資源量進行審計，以支持向美國證券交易委員會(SEC)呈交的F-3表格，作為Vale股份在紐約證券交易所首次上市及公開發售的規定。自1997年的首次審計至完成1999年儲量的審計，外聘審計師是美國公司Mineral Resources Development, Inc. (MRDI)。MRDI於2000年5月被AMEC收購，隨後至2002年年底的審計是以AMEC的身份完成，但主要參與人員與之前MRDI所作工作相同。Vale於2003年和2004年變更了審計師。截至2003年年底所聲明的儲量審計是Golder Associates於2004年初完成的。

PincocK公司於2005年初完成截至2004年年底儲量的審計。此項工作包括冶金、選廠和環境管理的全面審閱，理由是該等領域於過往的審計中未被完全處理。冶金和環境評估的首要重點為確認並無出現會損害所聲明礦產儲量生產的重大問題。

Fábrica礦區在被Vale併購後曾由MRDI審計，其後由PincocK公司進行2004年底的儲量審計。Apolo項目（原稱Maquiné項目）與Vargem Grande綜合項目於2005年初首次由PincocK公司根據Vale的計劃進行審計。就Apolo項目而言，2004年底的審計中資源評估初次用於審閱，而該項目已從勘探推進到早期開發。Vargem Grande綜合項目的控股權過去由Minerações Brasileiras Reunidas (MBR)擁有，Vale於2003年通過買入Caemi公司（持有MBR公司85%股權）的60%股權而獲得Vargem Grande綜合項目的控股權。MBR公司的礦區（包括Vargem Grande綜合項目）於PincocK完成的2004年年底審計中被納入Vale的儲量審計計劃。2007年，Vale與MBR其他合作夥伴簽訂一項協議，以增持股份並獲得MBR的全部控制權，從而令其與Vale其他南部體系礦場業務整合以達致協同效益。

AMEC於2005年再次審計儲量。就2006年而言，並無進行第三方審計，但儲量已由Vale的技術人員調整。於2008年2月，Pincock完成對Vale截至2007年12月31日的已呈報儲量的儲量調整審閱。

Pincock提述截至2004年年底和2005年年底的審計報告及2008年儲量調整報告均視為是次審計的背景，而目前的審計被視為就審計和審議相關的鑽探、取樣及冶金測試、地質模型開發、品位變量詮釋、資源量確認和儲量計算、開採和加工成本、監管許可和認可而進行的專業審計。

1.3 工作範圍

是次審計完成的工作包括：

- 審閱2004年及2005年審計報告以及2007年儲量調整報告
- 由Pincock審計團隊全員完成對營運中礦場的實地考察，以及由現有項目團隊中3名成員之前於2005年3月考察過的Apolo未開發項目
- 審閱並獨立分析Vale員工提供的數據
- 編製關於儲量審閱發現的中期報告
- 編製關於審計發現的報告

於實地考察期間，Vale向Pincock呈述口頭和書面報告，以充分詳細地讓我們理解數據、地質模型、礦產加工和礦場設計，以確認所呈報的資源量和儲量是按照採礦行業的公認原則和慣例而估計的。

Pincock審閱儲量估計的輸入數據，以確認已適當地採取合適步驟，將資源量分類為儲量。這包括有關技術上、經濟上和法律上開採儲量能力的資料。我們的團隊包括一名評審地質和地質模型的地質學家、一名評審用於估計資源的分析方法的地質統計學家、一名評估採礦方法和成本以及為可開採儲量的界定提供支持的礦場規劃的礦場工程師，一名審閱選礦作業和成本的冶金學家，以及一名審閱環境管理及是否具備令人滿意的填海和復墾計劃的地質／環境工程師。

是次審計涵蓋下列範疇：

- 審計地質與資源量模型
 - 與熟悉有關項目的Vale的地質學家審閱勘探方法、抽樣及試金程序的目前情況，以及地質詮釋。
 - 審閱用於估計原來位置的資源量的統計和地質統計參數。
 - 審閱營運中礦場過往產量與預測模型資源量的調整情況，這涉及將採礦過程中基於坡面、溝槽及鑽洞抽樣與長期資源量模型進行調整。
- 審計儲量
 - 審閱直接經營成本、回收程度及其他用於決定最終礦井可開採儲量的經濟數據。
 - 審閱目前的礦場進度、規劃進度及最終礦井的配置。
 - 將預測的直接經營成本與目前在礦場呈報的成本進行比較。
 - 審閱各項採礦作業的冶金測試工程和選礦設施。
 - 審閱礦場地質技術，包括設計及監察礦井坡度、礦場廢料處置區、殘渣堵塞堤及沉積物或其他堵塞構築物。
 - 審閱地表及礦產權、礦場許可證、關閉礦場計劃以及環境管理的情況。

審計工作側重於採礦作業，不包括審閱鐵路系統或港口設施。鐵路運作和作為獨立運營業務的成本，和分配給南部體系的運送成本均以每噸物料的運送為基礎。港口設施包含在南部體系的成本架構中，包括最終產品的混合和物料處理及船隻裝卸設施。

1.4 工作計劃

Pincock項目小組開展的實地考察分為兩個階段。地質學家和地質統計學家的考察於2008年9月13日至10月5日期間進行。礦場工程師、選礦工程師和環境工程師的實地考察於2008年12月3日至12月9日期間進行。作為本次審計對象的其他Vale業務也於該等期間被考察。

進行項目審閱時，首先於Belo Horizonte舉行了會議，進行關於Vale業務和各特定礦場業務單位的整體審閱。之後對業務進行實地考察和對礦場和選廠設施進行視察。實地考察期間，獲得了綜合項目內的每個礦場業務的背景資料及具體數據。

Vale的職員以專業和及時的方式提供了一切所需的資料，Pincock認為已完成工作的範圍及所獲資料充分滿足本次審計範圍，並符合SEC指引第7號「由從事或將從事龐大採礦業務的發行人對產業的描述」和公認行業慣例。

1.5 人員

高級跨學科項目團隊由熟悉大型、高噸位露天採礦場和鐵礦選設施的專家組成。團隊成員包括主管Darrel Buffington (P.E.)、項目經理Pincock Allen & Holt – Brasil、採礦及地質服務副總裁Doug Jones、首席地質學家Leonel Lopez (C.P.G.)、首席地質統計學家Bipin Bhatt，以及首席冶金工程師Ron Harma。

1.6 審計的限制因素

PAH已獨立地審閱由Vale及其聯屬公司和顧問所提供的資料和數據。儘管PAH於本報告中所表達的意見依賴所提供數據的準確性，PAH並無理由相信有任何重大事實遭隱瞞。Vale的技術職員已公開及持續更新資料。PAH對所提供資料的任何錯誤或遺漏不承擔任何責任及不會對因此得出的投資或其他財務決定或行動承擔任何責任後果。

除「礦產資源量」、「探明礦產資源量」、「控制礦產資源量」和「推斷礦產資源量」是按照Canadian National Instrument 43-101，根據CIM標準所載指引的加拿大地質和採礦術詞外，本報告內有關物業的所有披露內容符合美國證券交易委員會行業指引第7號「由從事或將從事龐大採礦業務的發行人對產業的描述」。

本報告所提及的“Canadian National Instrument 43-101”乃指加拿大證券管理局的國家礦物43-101標準—礦物資源項目信息披露標準，而「CIM標準」乃指加拿大採礦、冶金和石油學會 (CIM)關於礦產資源量及礦產儲量的定義標準，由CIM委員會於2000年8月20日採納，並於2005年12月23日經加拿大礦物資源項目信息披露標準、Form 43-101F1及Companion Policy 43-101CP修訂。

礦場資源量估計本身屬於前瞻性聲明及可能作出改動。經Pincock於審議所獲提供的資料時已行使盡職審查，但未能控制的因素或未能預見的事件可能對礦產資源聲明造成重大的正面或負面影響。未能控制的因素或未能預見的事件包括與業務有關的風險，例如礦產行業的週期性質、行業的國際競爭力、價格基於不同需求層面的波動及國際或當地貨幣或政治政策的變動。任何一項或多項結合的因素可能對礦產資源聲明產生重大影響。

本報告使用詞彙「探明礦產資源量」和「控制礦產資源量」。雖然根據加拿大條例，該等詞彙是受到認可和允許的，但我們提醒美國投資者，美國證券交易委員會並不認可該等詞彙。美國投資者應留意，不得假設該等類別中任何部分或全部的礦產資源量將有機會被轉換為礦產儲量。

本報告使用詞彙「推斷礦產資源量」。我們提醒美國投資者，儘管加拿大條例認可和允許該詞彙，美國證券交易委員會並不認可。「推斷礦產資源量」本身具有許多不確定性，其經濟和法律可行性亦然。不得假設任何部分的推斷礦產資源量有機會上升至更高級範疇。根據加拿大的法例，推斷礦產資源量的評估未必構成可行性或其他經濟研究的基準。美國投資者

ft	英尺
ft ³	立方英尺
IDS	反比距離平方
ICP	感應耦合等離子體
In	英寸
ISO	國際標準組織
JORC	澳洲勘探結果、礦產資源量及可採儲量報告規則
k	千
kg	千克
km	千米
LI	安裝牌照
LMC	線性聯區化模型
LO	經營牌照
LP	初步牌照
LOI	強熱失量
M	百萬
Mt or mt	百萬噸
mm	毫米
m ³	立方米
mtpy	百萬噸／年
NI 43-101	Canadian National Instrument 43-101
NPO	天然球團礦
NPV	淨現值
OCK	Ordinary Co-Kriging
OK	Ordinary Kriging
PAH	Pincock Allen & Holt
oz	盎司
ROM	（濕式）原礦
T or t	噸 (1,000 千克或2,204.6 磅)
TDA	總非聚簇平均
TDS	溶解固體總量
TSS	懸浮固體總量
Tpa or tpy	噸／年
tpd	噸／日
tph	噸／小時
UTM	通用橫軸墨卡托坐標系統
VGR	Vargem Grande Complex
yd ³	立方碼
\$	美元
R\$	巴西雷亞爾

XRF	次級輻射
%	重量百分比

常用化學符號

鋁	Al
鈣	Ca
氯	Cl
鈷	Co
銅	Cu
金	Au
鐵	Fe
鉛	Pb
鎂	Mg
錳	Mn
鉬	Mo
鎳	Ni
氧氣	O ₂
鉀	K
銀	Ag
硫	S
鈦	Ti

2.0 地質

Vale南部體系由位於Minas Gerais州中南部的Quadrilátero Ferrífero (鐵四邊形地區)的鐵礦床組成。該等礦床源於前寒武紀Minas Supergroup形成中沉積岩的含鐵建造。下面討論Fábrica礦區、Vargem Grande綜合項目及Apolo項目中共有的區域地質，勘探活動的展開是為開發用於資源量估計的信息。

2.1 區域地質

鐵四邊形地區蘊含原生代時期的層狀鐵礦床，集中在Sao Francisco Craton的南部。Carton的地質特徵為前寒武紀花崗岩複合物及阿凱亞和原生代火山沉積次序。鐵礦床誕生於鐵英岩群的含鐵建造(Cauê Formation)，連同Caraça和Piracicaba地區岩群構成巴西地盾中的古元古代Minas Supergroup。

Minas Supergroup處於Rio das Velhas Supergroup的阿凱亞綠岩之上，構成阿凱亞時期變火山沉積岩的次序。其上層為Itacolomi Group的變質岩。鎂質岩脈入侵至地層。圖2-1呈現經簡化的鐵四邊形地區地層構造。Minas Supergroup經歷過漫長歷史的地質變化，包括上升、傾覆、入侵、擠壓和延展變形。該等地質事件為鐵礦床的形成創造了適宜的結構條件。

三大岩群組成了Minas Supergroup。位於最下層的Caraça Group主要是碎屑岩，由石英岩加夾層的千枚岩和礫岩組成。侵蝕的不一致標明了Caraça Group和其上方的Itabira Group的分界。

Itabira Group包括較下層的Cauê Itabirite（含有鐵四邊形地區主要的鐵礦床）、鐵英岩（含鐵創造表面的氧化物）夾雜含白雲岩的鐵英岩，以及少量千枚岩和白雲岩。它位於岩群形成的高層成員Gandarela Unit下方，由白雲岩和少量石灰岩、含白雲岩的鐵英岩、鐵英岩及含白雲岩的千枚岩組成。處於最高層的是Piracicaba Group，由石英岩、千枚岩和白雲岩等碎屑的沉積物組成。Supergroup的最後成員是Sabará Formation，它由綠泥片岩、千枚岩、雜礫岩、凝灰岩、礫岩、石英岩和稀少的鐵英岩組成。據此順序，礦床的年齡估計為26億年至21.2億年，已獲悉Itabira Group中一層白雲岩的年齡為24.2億年。

2.2 結構地質

鐵四邊形地區的地質構造以穹隆狀花崗岩體為特徵，帶有衝斷層和伴隨的等傾斜褶皺，而Rio das Velhas和Minas Supergroups被認為曾經被推擠而堆積到西部和西北部。

Minas Supergrou 經歷過漫長歷史的地質變化，包括上升、傾覆、被侵入、擠壓和膨脹變形，為沉積、移動和後面的變化過程創造了適宜的結構條件，使得礦化情況集中和產生鐵礦床。

2.3 礦化情況

鐵四邊形地區的主要鐵礦石類型：

赤鐵礦：在鐵礦床中赤鐵礦表現為高品位鐵礦石。含鐵量介乎65%至67%。為塊狀和葉片狀。根據其物理化學特性，赤鐵礦分為緻密赤鐵礦、易碎赤鐵礦和泥狀赤鐵礦。其形成與熱液過程或變質過程有關。

2.4.1 鑽探

Vale將金剛石岩芯鑽探作為資源量評估的主要信息來源。根據Vale和最近所收購三處礦權區的原所有者所進行的鑽探獲得的數據，確定了鐵四邊形地區中項目的地質模型。所有岩芯鑽探工作由獨立承包商完成。Vale有完善的鑽探工作流程，也包括處罰條款。

一般情況，南部體系的資源評估依據100米×100米勘探網度鑽探，在需要更詳細地質信息的地段採用50米×50米的勘探網度。鑽探深度主要取決於開採工作。鑽孔有垂直孔和傾斜孔。傾斜鑽孔中會頻繁進行井下測量，以測量偏移度。鑽探工作中，Vale讓獨立技術承包商檢驗岩芯獲取率，Vale估計岩芯獲取率為90%以上。承包商和Vale的技術人員獨立測量所獲得的岩芯長度和鑽探層段長度，計算岩芯獲取率。將岩芯獲取率數據輸入Vale數據庫中（SMQP和BDP），成為數據庫的一部分。Pincok公司觀察過不同礦山的多個岩芯箱，可以確信岩芯獲取率較高。

表 2-1

Vale

南部體系儲量審計

勘探數據匯總

	鑽孔編號	鑽探長度 (米)
Fábrica礦區		
João Pereira		
1974至2004	594	43,406
2004至2007	106	22,987
總計	700	66,393
Segredo		
1970至2004	432	29,366
2004至2007	126	26,324
總計	558	55,690
Vargem Grande礦區		
Abóboras		
1992至2004	40	2,925
2004至2006	135	20,189
總計	175	23,114
Tamanduá		
1990至2001	129	35,158
2001至2006	307	37,261
總計	436	72,419
Capitão do Mato		
1990前至2001	96	13,170
2001至2006	436	59,131
總計	532	72,301
Apolo礦床		
1970至1998	132	12,307
2001至2007	65	10,898
總計	197	23,205

表 2-2

Vale

南部體系儲量審計

Fábrica礦區岩芯採樣記錄所採用的岩性岩石代碼

硬赤鐵礦	HC
軟赤鐵礦	HF
泥狀赤鐵礦	HAR
含錳赤鐵礦	HMN
高品位軟鐵英岩	IFR
軟鐵英岩	IF
含錳鐵英岩	IMN
硬鐵英岩	IC
泥狀鐵英岩	IAR
含鈆土鐵英岩	IAL
白雲石化鐵英岩	IDO
鐵角礫岩	CG

紅土	LT
侵入岩	IN
片岩	XI
白雲岩	DOL
含鐵石英岩	QF

Pincock, Allen & Holt – Brasil
9508-B 2009年8月14日

A-2.5

在鑽探現場將岩芯裝入木製岩芯箱時，在每個箱一端的鋁牌上標注鑽孔編號和鑽探層段。圖2-2為岩芯箱標牌的例子，該岩芯箱存儲於Vargem Grande礦區，為典型的Vale礦山。

Pincock公司檢查了岩芯儲存設施發現這些設施狀態良好。Pincock公司隨機抽取了幾個鑽孔，檢查並記錄岩芯，以檢驗數據庫。數據庫合格且狀況良好。

2.4.3 岩芯採樣

南部體系礦山的岩芯採樣由Vale和合同地質師，按照Vale指定的標準流程進行。根據工作流程（PRO）制定了鑽探岩芯採樣規範。其中一些準則包括：

- 採樣標準長度： 10米
- 最大長度： 15米
- 最小長度： 5米
- 採樣重量： 25公斤
- 應對所有含鐵岩層採樣
- 採樣層段需要考慮地質邊界

從挖出礦物堆中取出約60公斤同類岩性礦物作為一份樣本。將樣本送往實驗室，進行標準粒度-化學分析。假設探槽樣本的獲取率是100%。CAP探槽的長度標準為3米，而CAN探槽的長度根據挖出礦物的岩性連續度會有所變化。

2.5 樣本分析

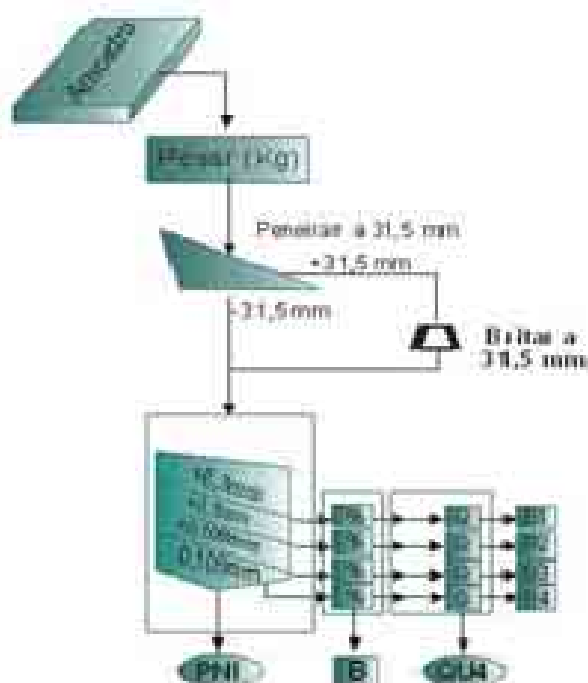
根據礦體的冶金學特性，Vale制定了樣本製備和分析流程，包括確定如塊礦（LO）、燒結用粉礦（SF）、球團用粉礦（PF）和尾礦（<0.15毫米）等銷售產品。經常對該流程進行修訂和更新，以納入新的分析技術、實驗室架構以及新的冶金設備。報告中詳細記錄了這些流程。圖2-4表示了Fábrica礦區所採用的工作流程。Apolo項目和Vargem Grande項目採樣採用了該通用流程，但粒度分析的特定篩子尺寸略有變化。

從Fábrica礦區採集的樣本送往實驗室。實驗室進行破碎、篩分和化驗，估計對應於塊礦、燒結用粉礦、球團用粉礦和尾礦等不同產品的粒度比例。鑽探樣本的處理包括下列步驟：

Plano de Análise - FBF Caracterização - G

Granulometria:
+ 8,0mm
+ 0,5mm
+ 0,106mm
+ 0,106mm

QU4 Fe, SiO_2 , Al_2O_3 , Mn, TiO₂
PPC MgO, CaO
Fe₂O₃



2.6 樣本QA/QC流程

Vale建立了嚴格的實驗室設備和實驗室流程的質量控制，以確保獲得最準確的分析結果。通過校準磅秤、篩子、計時器和溫度計，確保樣本製備的質量控制。分析流程的質量控制包括每批樣本之後，定期檢查並正確校準設備，並採用標準參考物質(CRM)或內部標準。採用氧化物化學平衡對分析結果進行複查。並分析整體品位和不同粒度部分的氧化物化學平衡結果，進行質量檢查。將副本樣本和表格送往商業實驗室進行檢查。通過統計分析進行比較。

圖2-5為原樣本和副本樣本之間關係的例子。整體上結果吻合較好。PincocK公司檢查了Vale實驗室人員提交的實驗室工作流程和實驗結果，並認可整體實驗室QA/QC流程。

2.7 密度確定

由Vale技術人員或承包商人員進行南部體系礦山的密度確定。所採用的方法包括：

- 校準填沙坑（FA）
- 固體岩石核在水中所排開的體積（DV），也稱為水浸法
- 鑽孔中取出的礦物重量與鑽孔體積之比（BH）

表2-3總結了Vale的密度研究結果。PincocK公司檢查了工作流程和結果，確定合格。PincocK認為在今後應增加密度確定所採用樣本數量（特別是廢石），並確定每個礦床的密度質。密度信息也應更新。

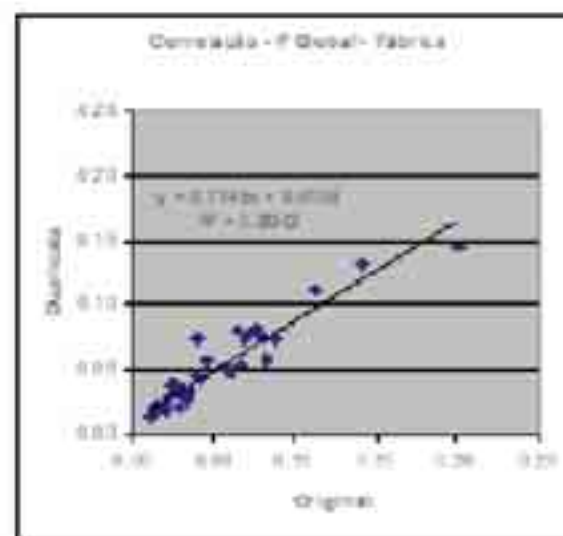
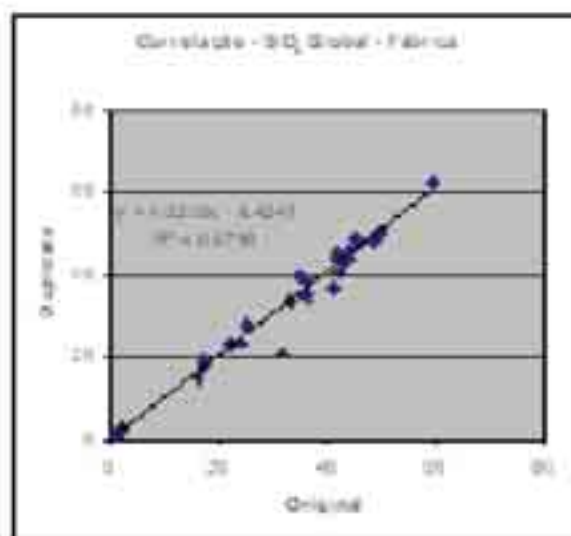
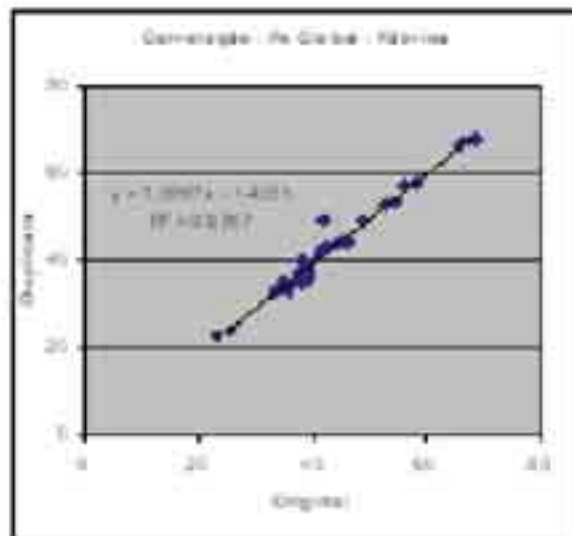


表 2-3

Vale

南部體系儲量審計

不同岩性單位的密度測量數據

岩性代碼	樣本號	自然密度	乾密度	水分(%)	分析方法*
硬赤鐵礦 – HC	91	4,45	4,43	0,35	DV / BH
軟赤鐵礦 – HF	83	3,37	3,15	6,84	FA
粘土狀赤鐵礦 – HAR	21	2,91	2,71	7,06	FA
含錳赤鐵礦 – HMN	9	3,15	2,90	8,20	FA
高品位					

3.0 資源建模和地質統計學

由Vale資源建模小組將南部體系和北部系統所採用的地質統計學分析和資源量建模方法標準化。下列章節中將介紹標準化的方法。南部體系中三個區域中每個特定區域資源量評估將在本報告的第八節中介紹。

3.1 建模方法

由Vale資源建模小組制定的地質建模和資源評估流程，被認為能充分支持Vale所報告的資源量和儲量報表。

制定長期計劃的Vale資源評估小組主要位於貝洛奧里藏特。該小組負責建立地質模型、資源塊體模型、並根據Vale每個鐵礦的儲量評估數據制定長期礦山生產計劃。由於主要進行地質工作，每個鐵礦所採用的基本流程基本相同。評估工作一般根據整體分析Fe, SiO₂, Al₂O₃, P, Mn和LOI（灼燒損失），以及各個粒度組分的數據，但是不同礦山的這些數據不同，取決於礦床特性。Vale的地質建模和資源評估方法包括國際礦業行業所認可的所有

表 3-1
Vale
南部體系儲量審計
Vale資源建模的一般方法

數據組織	主要數據同時存儲於Vale的BDP和SMQP數據庫系統
	用Excel文件或Access文件集中原始數據
	建模數據存儲與Vulcan文件和ISATIS文件
數據管理	鑽孔數據、採樣數據、測量數據、岩芯記錄表等
	從台階獲得的探槽採樣數據，台階地圖等
一致性檢驗	對老鑽孔口位置進行重新測量
	根據地形肉眼檢驗鑽孔位置
	檢驗化驗和數字數據輸入
	視覺檢驗數字數據輸入
	實驗室自動化驗數據輸入（為避免錯誤可能性）

表3-2列出了分類標準，其中Fe是鐵含量，G1是實驗室中將岩本破碎至不大於50mm粒度時，粒度大於6.3mm礦物的比例。在對每種岩性單元採用氧化物化學平衡分析進行驗證，此外還考慮粒度化學分析和地質解釋，最終確定岩石代碼。

表 3-2

Vale

南部體系儲量審計

驗證岩性代碼的典型標準

岩性	最終代碼	採用標準
易碎赤鐵礦	HF	Fe ≥ 60% e G1 < 50%
緻密赤鐵礦	HC	Fe ≥ 60% e G1 ≥ 50%
含錳赤		

表 3-3

Vale

南部體系儲量審計

地質分類採用的岩石代碼

岩石類型	代碼	Vargem Grande礦區			Fabrica礦區			Carajas礦區		
		Tamanduã	Aboboras	Capitão do Mato	Segredo	João Pereira		N4E	N4W	Serra Sul
緻密赤鐵礦										

3.5 基本統計

Vale對PincocK公司所審計的所有礦區進行了深入的統計學研究。研究包括對岩性區域建模所採用的所有化學變量和相關粒度組分進行單變量統計。Vale總結了原始樣本（原數據）、組合樣本和塊體模型所進行的基本統計比較，供PincocK公司進行審閱。在資源量和儲量審計範圍內，PincocK公司對比較研究進行了極限檢驗，發現數據在合格極限範圍內。沒發現較大差異。

Vale還為原數據、組合樣本和塊體估算生成了許多柱狀圖和箱線圖。PincocK公司審查了這些數據，並重新為Segredo, Apollo和Serra Sul礦製作柱狀圖和箱線圖，發現這些數據合格。圖3-4包括Vale對Apollo礦床組合樣本進行的統計研究的一個例子。

圖3-1和3-2分別表示Vargem Grande礦區的Abóboras礦床Fe（赤鐵礦）變量柱狀圖和Carajás礦區N4W礦床的Fe_{gl}（赤鐵礦）變量箱線圖的例子。

3.7 地質建模

Vale採用兩個方法建立地質模型：

- 在屏幕上初步表現
- 單元建模方法用於最終表現

Vale人員採用的屏幕方法分爲兩步，包括屏幕生成剖面和平面圖，隨後屏幕表現地質數據。地質模型主要根據剖面中幾個鑽孔地質接觸面的情況。隨後將剖面圖所表現的岩性接觸面轉化爲平面圖。將地質情況表現出來之後，通過平面多邊形在屏幕上生成每個地質單元的實體，以確定其範圍。

修改過的新方法稱爲單元建模法，廣泛用於對老模型進行更新。該方法中，在預先確定的網格上生成剖面，並修改了岩性代碼。剖面用組成模型單元的塊體填充。然後用線框生成三維實體。對廢石和礦石代碼都分別進行這一工作。然後採用樣本數據通過指示克里格法（IK）爲塊體模型插入數值。指示爲統一塊體的中點。通過在剖面和平面上平分多邊形獲得中點。採用岩

變化明顯的接觸面為硬接觸，逐漸變化的接觸面為軟接觸。Pincock公司檢查了這些特徵，審閱了Vale的接觸面分析數據和圖表，發現軟接觸兩側的平均品位值沒有明顯差異。這種情況下不論距離多大，都可以採用接觸面兩側的組合對該區域進行克里格計算。Pincock公司發現硬接觸兩側的平均品位值有明顯差異。在這種情況下，岩性決定是否採用這些組合進行克里格測量。採用的組合較少，且取決於岩性。

圖3-4表現了Serra Sul礦床和Carajás礦區中兩種接觸面的例子。

Pincock公司斷定不同地質範圍兩側粒度組分有明顯變化，同意Vale將每個地質範圍當作空間範圍。

3.8 變差法

Vale人員對每個礦床進行了詳細深入的變差分析。Vale對每個粒度組分中所有化學變量（Fe, Al, Si, P, Mn和LOI）採用線性同區域模型（LMC）。LMC是保證協同克里格法獲得的估算值方差較小或為零的技術。為了確保這一點，每個

Pincock公司觀察了Vale許多變差模型中各向異性情況（品位變化），認為各向異性與地下地質情況有直接關係（淺層富集）。Pincock公司採用幾個變量的試驗數據對一些三維模型服從度的對比圖進行了檢驗。兩個模型整體都表現出很好的完整性。

3.9 品位累積

在樣本組合之前，Vale採用稱為「特殊變量分析」的品位累積步驟進行品位估算。該步驟需要粒度組分比例（破碎篩分至小於31mm粒度的總樣本百分比）和每個粒度組分的累積化驗值。通過將特定粒度組分百分比乘以相同粒度組分的化驗值，計算得出特定粒度組分的品位累積化驗值。比如，**AF_{FeG1} = G₁ (百分比 +6.3mm 粒度組分) x FeG₁ (鐵品位 +6.3mm粒度数)**。進行該過程的目的是確保在塊體估算中對所有組合恰當處理（加權）。由於對每個粒度組分進行的單獨化驗只能表現該粒度組分的值，所以對於所有鐵礦該程序都是必需的。因此需要採用相應的粒度組分對樣本進行加權。

Vale所確定的克里格參數恰當合理。

3.11 資源模型驗證

Vale所進行的資源建模驗證通過下列步驟進行：

1. 統計比較檢驗:

全局偏差
品位插入變化範圍與組合變化範圍
平均值和分佈

2. 近鄰模型:

全局偏差
台階間局部偏差
剖面間局部偏差
變化趨勢

3. 屏幕檢查

隨機選取一些剖面
視覺比較組合和克里格計算品位

Vale制定了「風險指數」(IR (u))以確定資源類別並減少克里格計算中導致的錯誤（例如樣本間距、地質複雜性、不規律品位擾動等）。Pincock公司認為用於資源分類的風險指數是合適的，但是會使最終確定的測定資源量和推斷資源量略偏保守。

用於化學變量的經典地質統計學技術沒有考慮礦體的幾何形態。在這種情況下，根據克里格方差得出的資源分類標準未考慮鐵礦床中任何地質和地球化學變化性的風險。爲了消除估算過程中的所有風險，Vale根據樣本分佈和礦體幾何特性，採用克里格法確定風險指數。

根據建立的方法，用值(1)表示礦體，用值(0)表示廢石。產生方向性指示變量圖並進行指示克里格計算。根據定義，假設值只會爲0或1，每個塊體的指示克里格計算結果爲樣本的加權平均數。所以除了一些負數克里格加權，1是最大可能結果，0是最小可能結果。克里格值爲1的塊體具有較高的含礦可能性，爲0的礦體含廢石的可能性較高。0和1之間的中等值表明存在礦石和廢石的可能性都有。如果克里格結果表示可能性最大的岩性，克里格方差將表示這種假設

$$IR(u)_{\text{implicite}} = \sqrt{[1 - I_K^*(u)]^2 + [\sigma_{IK}^2(u)]^2}$$

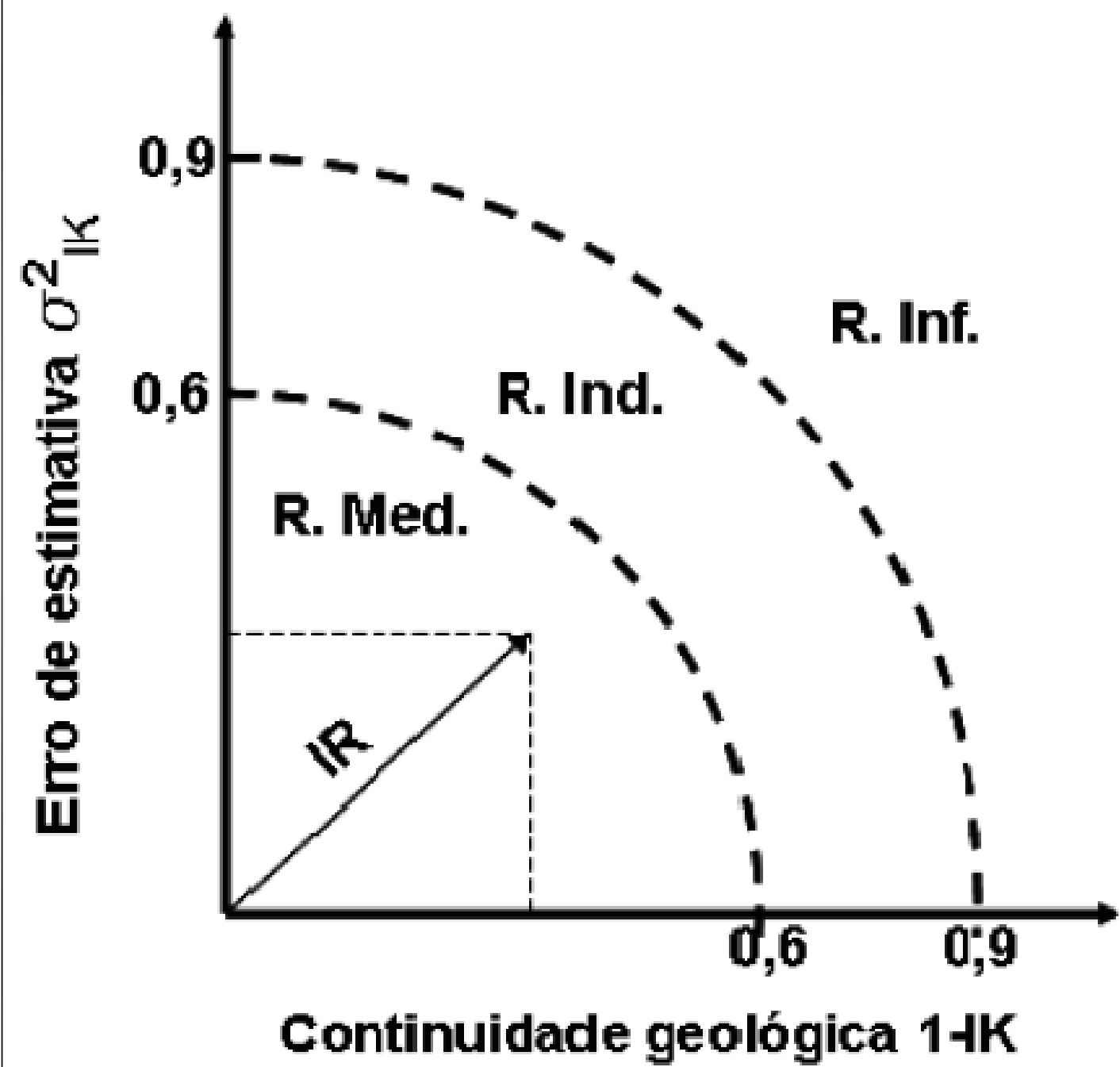
其中,

$I_K^*(u)$ = 為指示克里格估計值，對應於位於u位置的塊體;

$\sigma_{IK}^2(u)$ = 為指示克里格方差，對應於位於u位置的塊體。

圖3-6表示了RI=0.6和RI=0.9的曲線，確定了測定、指示和推斷資源類型之間的邊界。Pincock公
司認為Vale指定的該分類標準合格且符合NI-43-101的要求。

在Fábrica礦區Segredo和João Pereira礦床對經克里格計算的塊體分類時（以編寫報告），Vale仍



雖然更換設備會改善未來的生產情況，但在一些礦山中，設備沒及時更換。用於設備更換的預算計劃比較充裕。對於Vale所面臨的開採狀況、員工薪資、以及單位材料價格，其開採運營成本比較合理。

4.2 礦山設計

Pincock公司審查並評估了Vale所採用的露天坑開拓方法，以及給地質和開採塊體模型中所含礦物指定經濟性指標的方法，發現這些方法能滿足工程經濟實際需要。通過之前給礦體建立的資源模型，進行露天坑優化和邊界品位分析。目前識別的礦石類型包括：

- 1. 赤鐵礦，典型鐵品位高於**64%**；
- 2. 軟鐵英岩，鐵含量高於**48%**，對磷和錳含量上限有要求；
- 3. 高品位鐵角礫岩，鐵含量高於**55%**。

Fábrica礦區和Vargem Grande礦區的露天坑，將穿過赤鐵礦範圍，到達

目前模型所採用的運營成本摘自2008年的實際成本數據。其中直接運營成本還包括用於開採的設備更換資金，以及在未來維持現有開採規模（不擴大規模）所需的額外支出。表4-1列出了各個礦山2008年下游成本和資金分配情況。成本和產品售價都較2007年有所增加，比匯率變化幅度更大。

表 4-1
Vale
南部體系礦山儲量審計
2008 單位成本 (美元／每噸產品)

Fábrica	
João Periera和Segredo礦	
礦山	\$3.77
選場 ITM HM	\$2.01
選場 ITM ITAB.	\$7.20
管理	\$2.02
鐵路運輸 MRS	\$9.00
鐵路運輸 EFVM	\$2.54
港口 CBPS	\$7.41

地質技術工程師結合勘探地質工作進行採場邊坡研究工作。根據國際岩石力學協會（**ISRM**）和巴西環境和工程地質協會（**ABGE**）所指定的工作流程，記錄所獲取的所有岩芯的地質技術特性。對記錄和分類體系進行了修改，加上一個級別，以表示鐵建造中常見的低強度岩石。設計分析主要針對旋轉及平滑坡度模式。分步驟進行採場邊坡設計，根據長期開採設計人員指定的優化採場設計，結合地質技術穩定性和開採實際情況進行。

地表水是影響邊坡穩定性的關鍵因素。採取的排水措施包括水平排水，深排水井以及採場中水池。採場中的監測系統包括壓力計和測量棱柱標杆，測量邊坡移動。傾斜計安裝在不穩定區域或移動速度較大區域。

設計新排土場主要需要注意基礎排水，以控制排土場中水量，保證排土場中物質和基土的穩定性，以及通過控制地表水達到控制地表水侵蝕和滲透的目的。對每個新排土場地區都進行了地質技術工作，並進行了專門設計。

由**Vale**人員與外部顧問，協同設計了新尾礦庫和沉澱

表 4-2
Vale
南部體系礦山儲量審計
2007年12月31日公佈儲量

Fabrica礦區儲量總結	證實儲量		估計儲量		總儲量	
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%
João Pereira						
赤鐵礦 ^(a)	18.1	63.8%	18.3	62.0%	36.3	62.9%
鐵英岩	253.7	41.7%	294.8	40.4%	548.5	41.0%
總礦石量	271.					

表 4-3
Vale
南部體系礦山儲量審計
2007年至2008年之間儲量變化

	2008年		2007年 ^(b)		變化	
	噸位 (mt)	Fe品位	噸位 (mt)	Fe品位	噸位 (mt)	Fe品位
Fabrica礦區	896.4	45.0%	466.0	50.2%	430.4	-5.2%
Vargem Grande礦區						
Abóboras	469.3	45.2%	26.5	66.1%	442.8	-20.9%
Capitão do Mato	839.1					

5.0 選礦

南部體系礦山中鐵礦石選礦主要針對赤鐵礦和高品位鐵英岩，需要比較簡單的選礦流程進行選礦。出於提高產量並減少以開採高品位礦石儲存量的策略考慮，Vale計劃建設新選廠處理主要為硬鐵英岩的低品位礦石。下列章節介紹了Fábrica和Vargem Grande礦區當前選場的大致情況，以及計劃建設用於處理鐵英岩礦石的選廠情況。Apolo項目的選廠將同時包括這兩種選礦系統。本報告的第8節將詳細介紹選礦工作和每個礦山的選礦成本。

5.1 高品位礦石選礦

南部體系礦山典型高品位礦石選礦流程首先包括多級乾磨和篩分，生產塊礦，hematitinha塊礦和燒結料產品。粉礦或上述乾法選礦步驟中顆粒過小的部分隨後進行濕選，包括採用進一步篩分、分級、高強度磁選和重力分選，生產額外燒結料和球團料。球團料經濃密機脫水並過濾。然後將重新研磨的濾餅運至球團廠或當球團料

表5-3列出了鐵英岩選廠項目的資金成本和運營成本。如前文所述，由於項目投產時間不同，工程進度也不同。Vargem Grande選廠進度最快，最近完成了可行性研究級(FEL3)成本估算。Vale最近通過建設Brucutu項目等項目建設積累的經驗，為進行可靠的成本估計和根據儲量分析並論證經濟可行性提供了基礎。第8節中將介紹每個項目的經濟敏感度分析，分析表明這些項目具有經濟可行性。

表 5-3
Vale
南部體系礦山儲量審計
鐵英岩選廠資本成本和運營成本

	預計資金成本 （百萬美元）	預計運營成本 （美元／噸 產品）
Fábrica礦區	849.00	7.62
Vargem Grande礦區	1.18	8.05
Apolo項目	1.03	8.02

6.6 燃料供給

柴油由卡車運送至礦井，同時，所有的礦井採礦現場還提供了大容量儲存設備。

6.7 採礦現場基礎設施

礦井現場的設施如下：

- 維修店
 - 焊接車間
 - 重型和輕型汽車維修
 - 輪胎店
 - 汽車清洗
- 倉庫
 - 辦公室倉庫
 - 人員倉庫
 - 管理倉庫
- 進入通道
 - 醫療診所
 - 中央餐廳
 - 一般服務
 - 車輛和公共汽車
- 安全設施
 - 消防局與滅火車
 - 變電站及配電
 - 產品運輸系統

關於 **Apolo** 項目，它設定的一部分最終礦坑（用於含量估計）有一部分地區位於 **Vale** 目前並沒有獲得 **National Department of Mineral Production (DNPM)**的採礦特許權的地區。在該地區目前有兩個特許權并非由 **Vale** 擁有。**Pincock** 知悉，正與擁有特許權的其中一個公司進行協商，並且正在準備與第二個特許權的公司開始協商。**Pincock** 知悉，目前持有該等採礦特許權的人士，其開採權同時受到 **Vale** 所擁有的土地業權所限制，因此，只有雙方共同合作，方可有效地開發這些礦石資源。**Pincock** 認為，**Vale** 有很大機會，通過與 **DNPM** 特許權持有人達成協議，以獲得採礦 **Apolo** 儲量的權利。我們理解，如果協商不成功，**Vale** 將需要尋求法律訴訟，以獲得開採的合法權利。因此，根據開發這個新項目儲量的時間表，**Pincock** 認為 有理由相信 **Vale** 將可以獲得開採目前估計的儲量的開採權。

7.2 環境管理

